ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 6 (67)
2012



ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2012

№ 6 (67)

**Теоретический
и научно-практический журнал**

**Рекомендован ВАК для публикаций
основных научных результатов диссертаций
на соискание учёных степеней доктора
и кандидата наук (решение Президиума
ВАК Минобрнауки России
от 19 февраля 2010 года № 6/6)**

Издаётся с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Июль — сентябрь 2012 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**

Подписано в печать 25.09.2012.
Формат 60×84/8. Гарнитура Tahoma. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,3. Тираж 1000 экз. Заказ № 717. Цена свободная.
Адрес редакции:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.
Адрес полиграфического предприятия:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://vestnik.donstu.ru
Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2012

№ 6 (67)

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)
Founded in 1999
8 issues a year
July — September 2012

Founder **— Don State Technical University**

The issue is prepared by: I. N. Boyko, B. A. Fedenko, M. P. Smirnova (English version)
Passed for printing 25.09.2012.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 21.3. Circulation 1000 cop. Order 717. Free price.

Editorial Board's address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-85-65

Printery address:
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-87-41, 273-83-22
http://vestnik.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 532.593

Длинные волны в прямоугольном стенде, вызванные пластиной

В. В. Трепачёв
(Донской государственный технический университет)

Проведено исследование формы поверхности тяжёлой жидкости в прямоугольном волновом стенде, покрытой длинными волнами над ровным дном. Волны вызваны горизонтальными гармоническими колебаниями волнопродуктора щитового типа. Получено точное решение краевой задачи с учётом диссипации энергии в жидкости. Результаты применимы для расчёта и лабораторного моделирования поверхностных и акустических волн.

Ключевые слова: *тяжёлая несжимаемая жидкость, волнопродуктор, гармонические волны, длинные поверхностные волны, волновой стенд, диссипация энергии.*

Введение. При рассмотрении теории длинных волн на поверхности тяжёлой жидкости можно в первом приближении пренебречь вертикальным ускорением частиц жидкости, это приводит к тому, что давление в жидкости практически равно статическому давлению, а скорость движения её частиц является функцией, которая не зависит от вертикальной координаты [1], [2]. Постановка задачи о волнах гармонического вида на мелкой воде в прямоугольном бассейне здесь сводится к рассмотрению краевой задачи в прямоугольнике для уравнения Гельмгольца [3], используемого в акустике. Траектории колебательного движения частиц жидкости представляют собой фактически отрезки прямых линий, параллельных дну бассейна. Наличие дна в таких условиях движения частиц вызывает дополнительное рассеяние энергии, учитываемое нами в рамках теории Рэлея [1]—[5]. Данная работа дополняет результаты [1]—[5] и других исследований, т. к. в ней учитываются не только эффекты конечности всех размеров волнового стенда, но также эффекты диссипации энергии волн, наблюдаемые в ряде натурных экспериментов для волновых полей в океане [2].

Постановка задачи. Рассмотрим гармонические волновые колебания несжимаемой, тяжёлой жидкости под ровным дном в прямоугольном бассейне, имеющем длину l, ширину $2b$ и глубину h. Опустим множитель $e^{i\omega t}$, где ω — частота, t — время, i — мнимая единица. Постановка краевой задачи в линейном приближении теории длинных волн имеет вид

$$\partial^2\phi/\partial x^2 + \partial^2\phi/\partial z^2 + k^2\phi = 0;\ k = \sqrt{\left(\omega^2 - i\mu\omega\right)/gh};\ \mu > 0; \quad (1)$$

$$\partial\phi/\partial z = 0,\ z = \pm b,\ 0 \le x \le l;\ \operatorname{Re} k > 0;\ \operatorname{Im} k < 0; \quad (2)$$

$$\partial\phi/\partial x = 0,\ |z| \le b,\ x = l;\ l > 0,\ b > 0; \quad (3)$$

$$\partial\phi/\partial x = u(z),\ |z| \le b,\ x = 0;\ c = \sqrt{gh}, \quad (4)$$

где $\phi(x,z)$ — потенциал скорости, k — волновое число, μ — коэффициент трения о дно, g — ускорение свободного падения, c — скорость длинных волн, x — продольная координата, z — поперечная координата, $u(z)$ — амплитуда колебаний пластины волнопродуктора на плоскости передней стенки $x = 0$.

Построение решения. Решение краевой задачи (1)—(4) отыскиваем в виде функционального ряда с неизвестными коэффициентами A_m, но который удовлетворяет краевым условиям (2), (3) и имеет вид

$$\phi(x,z)=\sum_{m=0}^{\infty}A_m\left(e^{-2i\chi_m l}\cdot e^{i\chi_m x}+e^{-i\chi_m x}\right)\cos\left[\gamma_m(z-b)\right], \qquad (5)$$

где $\gamma_m = m\pi/2b$, а волновые числа χ_m продольных волн в (5) равны

$$\chi_m=\sqrt{k^2-\gamma_m^2}=\sqrt{\left(\omega^2/c^2-m^2\pi/(2b)^2\right)-i\mu\omega/c^2}\ , \ c=\sqrt{gh}\ . \qquad (6)$$

Подкоренное выражение в (6) имеет разрез на отрицательной части действительной оси.

Решение в виде (5) удовлетворяет также и волновому уравнению (1). Коэффициенты A_m находятся из краевого условия (4), которые представим соотношением

$$u(z)=i\sum_{m=0}^{\infty}\chi_m A_m\left(e^{-2i\chi_m l}-1\right)\cos\left[\gamma_m(z-b)\right],\ \gamma_m=m\pi/2b\ . \qquad (7)$$

Система тригонометрических функций $\cos\left[\gamma_m(z-b)\right]$ попарно ортогональна на отрезке $|z|\le b$, поэтому коэффициенты A_m в случае $m\ge 1$ равны выражениям

$$A_m=\left(i/\left(1-e^{-2i\chi_m l}\right)\chi_m b\right)\int_{-b}^{b}u(z)\cos\gamma_m(z-b)dz\ ,\ \mathrm{Re}(\chi_m)>0\ ,\ \mathrm{Im}(\chi_m)<0\ . \qquad (8)$$

Подставим (8) в (5), получим точное решение краевой задачи о длинных волнах в прямоугольном бассейне (1)—(4).

Форма свободной поверхности $\eta(x,z)$ выражается через потенциал скорости

$$\eta(x,z)=\left((-i\omega+\mu)/g\right)\phi(x,z). \qquad (9)$$

Коэффициенты A_m имеют смысл амплитудных множителей поверхностных волн. Коэффициент A_0 описывает амплитудный множитель «поршневой» волны. «Поршневая» волна имеет постоянное значение амплитуды вдоль направления оси z

$$A_0=\left(i/\left(1-e^{-2ikl}\right)2kb\right)\int_{-b}^{b}u(z)dz\ . \qquad (10)$$

Если $u(-z)=-u(z)$, т. е. в случае нечётной по z амплитуды колебаний вибратора, то всегда амплитуда колебаний «поршневой» волны (10) имеет значение ноль. Можно подобрать вид чётной функции для амплитуды колебаний $u(z)$, при которой амплитуда колебаний «поршневой» волны равна нулю. Амплитуда колебаний «поршневой» волны отлична от нуля, если мгновенный расход жидкости q, вытесняемый вибратором в горизонтальном направлении, отличен от нуля

$$q=h\int_{-b}^{b}u(z)dz\neq 0\ . \qquad (11)$$

«Поршневая» волна распространяется по кратчайшему пути, соединяющему плоскость вибратора $x=0$ и плоскость задней стенки бассейна $x=l$. Согласно (5) и ограничениям (8), построенное решение допускает предельный переход к бесконечной длине стенда l. В случае бесконечной длины стенда l в решении (5) присутствуют только волны, бегущие в одном направлении.

Бегущие волны в направлении от волнопродуктора к задней стенке стенда называют падающими. Падающая волна определяется вторым слагаемым в круглой скобке формулы (5). В случае конечной длины волнового стенда l возникает отражённая волна от задней стенки бассейна, занимающей положение $x=l$. Амплитудный коэффициент отражённой волны описывает-

ся первым слагаемым в круглой скобке формулы (5). Он содержит параметр l. Предельный переход к бесконечной длине стенда l возможен при коэффициенте трения о дно $\mu > 0$.

Анализ волнового поля в стенде. Процесс возбуждения бегущих волн в волновом стенде возможен благодаря диссипации энергии. Рэлей предложил способ избавиться от паразитных свободных волн введением диссипативных сил, которые пропорциональны скоростям частиц жидкости [1]. В ряде работ, выполненных Вапняр Д. У., Михайловым Э. Н., Шапиро Н. Б., горизонтальный обмен количеством движения учитывается путём введения диссипативной массовой силы, которая пропорциональна горизонтальной скорости течения. Коэффициент трения μ позволяет [2] рассчитывать горизонтальный турбулентный обмен течений и внутренних волн в экваториальной зоне океана.

В монографии [2] приведены натурные оценки коэффициента трения μ в пределах от 10^{-7} сек$^{-1}$ до 10^{-5} сек$^{-1}$. Известно, что в мелководных районах моря отмечена связь коэффициента трения и угловой частоты колебаний. В лабораторных испытаниях волнопродукторов поверхностных и внутренних волн, проводимых с участием автора данной статьи, отмечена высокая эффективность применения такой модели с использованием частотной зависимости коэффициента трения от масштаба волн. Отражённая волна имеет больший пробег, чем падающая волна, поэтому в волновом стенде достаточно большой длины создаются условия её подавления.

Пусть скорость движения пластины вибратора $u(z)$ чётная функция следующего вида

$$u(z) = u_0 \cos \gamma_1 z, \quad \gamma_1 = \frac{\pi}{2b}, \tag{12}$$

где $u(\pm b) = 0$.

Используя (8), (10), находим коэффициенты разложения потенциала скорости (5):

$$A_0 = \frac{u_0 e^{ikl}}{\pi \sin(kl) k}, \quad A_{2m-1} = 0, \quad m \ge 1, \quad A_{2m} = -\frac{u_0{}^{i\chi_{2m} l}}{\sin(\chi_{2m} l)\chi_{2m} b} \cdot \frac{\gamma_1}{\gamma_{2m}^2 - \gamma_1^2}. \tag{13}$$

В отсутствии диссипации, т. е. в случае $\mu = 0$

$$k = \frac{\omega}{\sqrt{gh}} = \frac{\omega}{c}, \quad \chi_m = \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - \frac{m^2\pi^2}{(2b)^2}}, \quad \mu = 0, \tag{14}$$

где k — действительное положительное число, называемое волновым числом «поршневой волны». «Поршневая волна» распространяется вдоль направления оси x. Появление волн, распространяющихся под острым углом к оси z, описывает условие излучения таких волн

$$k = \frac{\omega}{c} > \frac{m\pi}{2b}, \quad \mu = 0, \quad m = 1, 2, \ldots, M, \tag{15}$$

где M — число волн, полученных под углом к оси x. Угол излучения α_m равен

$$\alpha_m = \arcsin \frac{m\pi}{2bk}, \quad m = 1, 2, \ldots, M, \quad \mu = 0. \tag{16}$$

Чем больше ширина стенда $2b$, тем большее количество волн M сможет излучаться под углом к оси x. Чем больше значение номера волны m, тем больше её угол наклона α_m в (16). В случае $k = m\pi/2b$ угол наклона становится наибольшим и принимает значение, равное $\pi/2$. Упругие волны, распространяющиеся в плоском слое, изучались в [3] применительно к проблеме использования слоя в качестве волновода акустических волн.

При отсутствии диссипации энергии $\mu = 0$ возможны резонансные явления, связанные с конечностью длины стенда l. Тригонометрическая функция, находящаяся в знаменателе коэффициента разложения потенциала скорости (13), обращается в ноль при выполнении условий

$$k_i = \frac{\omega_i}{c} = i\pi / l\,,\ i = 1,2,...\,,\ \mu = 0\,; \tag{17}$$

$$\sqrt{\frac{\omega_j^2}{c^2} - \frac{m^2\pi^2}{2b}} = j\pi / l\,,\ j = 0,1,2,...\,,\ m = 1,2,...,M\,,\ \mu = 0\,. \tag{18}$$

При частотах колебаний, определённых в (17) и (18), возникают резонансы с бесконечной амплитудой колебаний. В постановке задачи присутствует диссипация энергии $\mu \neq 0$, которая не допускает возникновение резонансов с бесконечной амплитудой колебаний для распространяющихся волн, что дополняет известные результаты из теории плоских волн в волновом стенде [1].

Рассмотрим условие, которое противоположно по смыслу условию (15)

$$k < \frac{\pi}{2b} \text{ или } \frac{\omega}{c} < \frac{\pi}{2b}\,. \tag{19}$$

При выполнении (19) волны, распространяющиеся под углом к оси x, не излучаются. Соответственно резонансы типа (18) невозможны. При выполнении (19) колебания формы поверхности жидкости состоят из одной «поршневой волны» и счётного набора нераспространяющихся волн [3]—[5]. На рисунке 1 изображена поршневая мода колебаний на оси волнового канала с учётом диссипации энергии.

Под нераспространяющейся волной понимается волна, которая и в отсутствии диссипации энергии имеет амплитуду, убывающую по экспоненциальному закону. Нераспространяющиеся волны локализуются в некоторой окрестности волнопродуктора. При этом они быстро затухают в направлении движения от волнопродуктора.

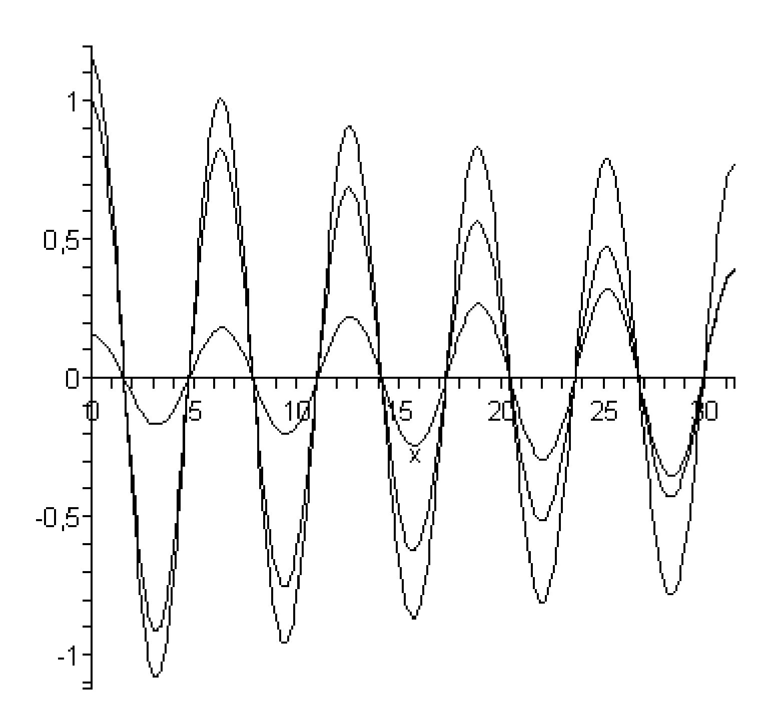


Рис. 1. Структура волнового поршневого поля на оси прямоугольного волнового стенда

Нераспространяющиеся волны могут также локализоваться и в окрестности отражающей стенки, что видно из формулы (5).

Заключение.

1. В работе показана возможность моделирования явления горизонтального турбулентного обмена для поля из падающих и отражённых поверхностных, длинных волн в прямоугольном стенде с произвольным соотношением сторон.

2. Показано, что волновое поле, состоящее практически только из бегущих волн, возникает в волновом стенде конечной длины благодаря влиянию диссипации энергии.

3. Получены новые условия отсутствия возбуждения поршневых, длинных волн горизонтальными гармоническими колебаниями щитового волнопродуктора.

Библиографический список

1. Сретенский, Л. Н. Теория волновых движений жидкости / Л. Н. Сретенский. — Москва: Наука, 1977. — 816 с.

2. Вапняр, Д. У. Планетарные волны и течения в экваториальной зоне океана / Д. У. Вапняр. — Киев: Наукова думка, 1976. — 222 с.

3. Лепендина, Л. Ф. Акустика / Л. Ф. Лепендина. — Москва: Высшая школа, 1978. — 448 с.

4. Трепачёв, В. В. Дифракция гармонической волны на вертикальном щите в канале / В. В. Трепачёв // Колебания и волны в жидкости и газе. — Горький: Изд-во ГПИ, 1990. — С. 89—95.

5. Трепачёв, В. В. Дифракция волн на пластине в узком канале / В. В. Трепачёв // Изв. вузов Сев.-Кавказ. региона. Естеств. науки. — 2002. — № 2. — С. 63—65.

Материал поступил в редакцию 25.05.2012.

References

1. Sretenskij, L. N. Teoriya volnovy`x dvizhenij zhidkosti / L. N. Sretenskij. — Moskva: Nauka, 1977. — 816 s. — In Russian.

2. Vapnyar, D. U. Planetarny`e volny` i techeniya v e`kvatorial`noj zone okeana / D. U. Vapnyar. — Kiev: Naukova dumka, 1976. — 222 s. — In Russian.

3. Lependina, L. F. Akustika / L. F. Lependina. — Moskva: Vy`sshaya shkola, 1978. — 448 s. — In Russian.

4. Trepachyov, V. V. Difrakciya garmonicheskoj volny` na vertikal`nom shhite v kanale / V. V. Trepachyov // Kolebaniya i volny` v zhidkosti i gaze. — Gor`kij: Izd-vo GPI, 1990. — S. 89—95. — In Russian.

5. Trepachyov, V. V. Difrakciya voln na plastine v uzkom kanale / V. V. Trepachyov // Izv. vuzov Sev.-Kavkaz. regiona. Estestv. nauki. — 2002. — № 2. — S. 63—65. — In Russian.

LONG WAVES IN RECTANGULAR TANK GENERATED BY PLANE

V. V. Trepachev
(Don State Technical University)

The surface form of heavy liquid in the rectangular wave tank covered with long waves over the flat bottom is investigated. The waves are generated by the horizontal harmonic oscillations of the screen-formed wavemaker. The accurate solution to the boundary problem with regard to the energy dissipation in liquid is obtained. The results are applicable for the calculation and laboratory simulation of the surface and acoustic waves.

Keywords: *heavy incompressible liquid, wavemaker, harmonic waves, long surface waves, wave tank, energy dissipation.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 613.6:621.43

Конечно-элементное моделирование процессов массопереноса загрязнений в производственной среде с учётом завихрений воздушных потоков

Б. Ч. Месхи, А. Н. Соловьёв, Ю. И. Булыгин, Д. А. Корончик
(Донской государственный технический университет)

Исследуется возможность определения полей подвижности воздуха, температур и концентраций вредных веществ на основе конечно-элементного моделирования процессов массопереноса загрязнений в производственной среде с учётом завихрений воздушных потоков.
Ключевые слова: *рабочая зона, производственное помещение, концентрация вредных веществ.*

Введение. В работе [1] определение полей концентраций вредных веществ, температуры и подвижности воздуха в производственной среде исследуемых помещений осуществлялось на основе моделирования тепломассопереноса для потенциального безвихревого поля. Рассчитанные параметры производственной среды достаточно хорошо согласовывались с экспериментальными данными, полученными в помещениях с невысокой плотностью размещения стационарных источников загрязнения.

Однако у источников загрязнения, где, как правило, размещаются рабочие места операторов и местные вентиляционные отсосы, создаются условия для возникновения турбулентных газовоздушных потоков, которые существенно изменяют картину распределения подвижности воздуха и загрязнений в помещении, что необходимо учитывать в разрабатываемой модели. В рамках подхода, изложенного в [1], задача корректно не решается.

Таким образом, для замкнутых производственных помещений с высокой плотностью размещения источников загрязнений в условиях работы активной вентиляции возникает проблема точного определения полей подвижности воздуха с учётом вихревых движений, точность определения которых влияет на результаты расчёта полей концентраций и температур. Поэтому необходим поиск математических моделей, которые могут описывать исследуемые процессы с высокой точностью.

Обзор и анализ отечественных и зарубежных литературных источников [2, 3, 4], посвящённых процессам массопереноса веществ в замкнутых средах, показал, что реализация метода «вектор завихрённости — функция тока» имеет ряд преимуществ. Так, уравнения предлагаемого метода подобны по типу (по математическим свойствам), и их численное решение проще, чем решение уравнения Навье — Стокса.

В работе [4] рассмотрен численный анализ конвекции в прямоугольной области с источником тепла в условиях внутреннего массопереноса и внешнего вынужденного течения (1).

Постановка задачи (1), как и многих других задач вязкой несжимаемой жидкости в переменных (Ψ, Ω), обладает следующей особенностью. Граничные условия на твёрдой стенке задаются только для функции тока, а не для вихря, который определён лишь внутри области согласно уравнению $\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2} = -\Omega$. Для преодоления этой трудности используют различные подходы, в частности, применяют приближённые граничные условия для вихря.

В данной работе для вихря на твёрдой стенке ставилось условие Тома, которое получалось из условия прилипания [5].

$$\frac{\partial(U\Omega)}{\partial X}+\frac{\partial(V\Omega)}{\partial Y}=\mu\cdot\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}\right)$$
$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2}=-\Omega$$
$$\frac{\partial(UC)}{\partial X}+\frac{\partial(VC)}{\partial Y}=\frac{\mu}{Sc}\cdot\left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial Y^2}\right)+Q \qquad (1)$$
$$U=\partial\Psi/\partial X$$
$$-V=\partial\Psi/\partial Y,$$

где X, Y — координаты Декартовой системы координат; U, V — составляющие скорости в проекции на оси X, Y соответственно; Ψ — функция тока; Ω — завихрённость скорости; C — концентрация примеси в области решения; Q — источник загрязнения.

Система (1) не может быть решена в общем виде аналитически, для нахождения решения необходимо использовать численные методы, реализация которых возможна в программной среде *FlexPDE*-6.20.

Постановка задачи. Объект исследования (рис. 1) представляет собой воздушную камеру с входными и выходными воротами и расположенным по центру источником выброса оксида углерода. Скорость газа поступающего в камеру является постоянной в течение всего процесса.

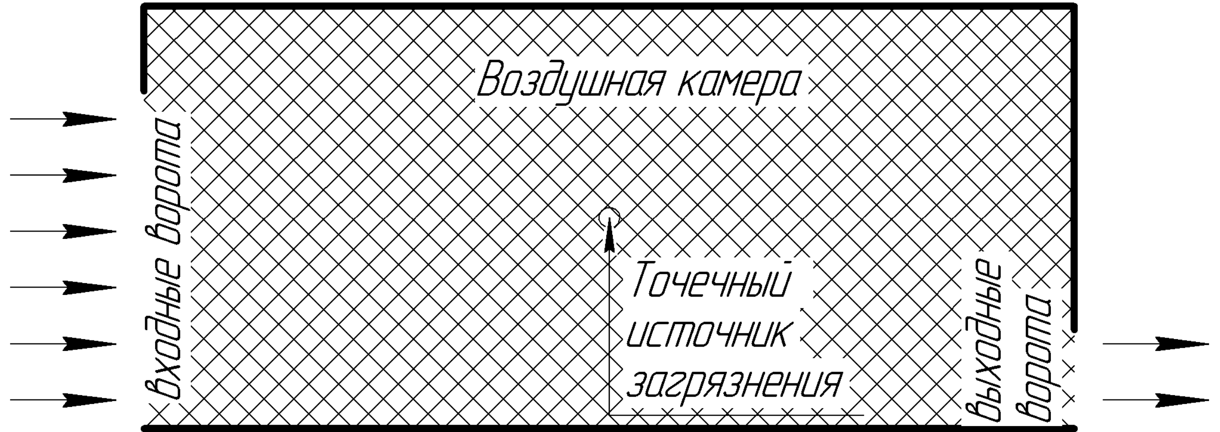


Рис. 1. Воздушная камера с источником загрязнения

Вихревая модель массопереноса вредных веществ. Для универсальности система уравнений (1) была приведена к безразмерному виду, а безразмерные переменные величины приняли следующий вид:

$$\tilde{X}=X/L_x,\quad \tilde{Y}=Y/L_x,\quad \tilde{C}=C/C_S\,/,\quad \tilde{U}=U/U_{in},\quad \tilde{V}=V/U_{in},$$
$$\tilde{\Psi}=\psi/(U_{in}\cdot L_x),\quad \tilde{\Omega}=\Omega\cdot L_x/U_{in},\quad \tilde{Q}=Q\cdot L_x/(C_S\cdot U_{in}),$$

где $\tilde{X}, \tilde{Y}$ — безразмерные координаты, соответствующие координатам X, Y; L_x — длина области решения по оси; $\tilde{U}, \tilde{V}$ — безразмерные скорости, соответствующие скоростям U, V; U_{in} — скорость потока на входе в воздушную камеру; $\tilde{\Psi}$ — безразмерный аналог функции тока; $\tilde{\Omega}$ — безразмерный аналог вектора вихря; $\tilde{C}$ — безразмерная концентрация примеси; C_S — концентрация источника; $\tilde{Q}$ — безразмерный аналог источника.

Для повышения сходимости решаемых уравнений в среде *FlexPDE-6.20* в модель был введён поправочный коэффициент ($\sqrt{Re}$), который привёл исследуемые величины к одному порядку. Система уравнений (1) приобрела вид:

$$\frac{\partial\left(\overline{\overline{U}}\tilde{\Omega}\right)}{\partial\tilde{X}}+\frac{\partial\left(\overline{\overline{V}}\tilde{\Omega}\right)}{\partial\tilde{Y}}=\frac{1}{\sqrt{Re}}\cdot\left(\frac{\partial^2\tilde{\Omega}}{\partial\tilde{X}^2}+\frac{\partial^2\tilde{\Omega}}{\partial\tilde{Y}^2}\right)$$

$$\frac{\partial^2\overline{\overline{\Psi}}}{\partial\tilde{X}^2}+\frac{\partial^2\overline{\overline{\Psi}}}{\partial\tilde{Y}^2}=-\sqrt{Re}\cdot\tilde{\Omega}$$

$$\frac{\partial\left(\overline{\overline{U}}\tilde{C}\right)}{\partial\tilde{X}}+\frac{\partial\left(\overline{\overline{V}}\tilde{C}\right)}{\partial\tilde{Y}}=\frac{1}{\mathrm{Sc}\cdot\sqrt{Re}}\cdot\left(\frac{\partial^2\tilde{C}}{\partial\tilde{X}^2}+\frac{\partial^2\tilde{C}}{\partial\tilde{Y}^2}\right)+\sqrt{Re}\cdot\tilde{Q} \qquad (2)$$

$$\overline{\overline{U}}=\partial\overline{\overline{\Psi}}/\partial\tilde{X}$$

$$-\overline{\overline{V}}=\partial\overline{\overline{\Psi}}/\partial\tilde{Y},$$

где $\overline{\overline{U}}=\tilde{U}\cdot\sqrt{Re}$, $\overline{\overline{V}}=\tilde{V}\cdot\sqrt{Re}$, $\overline{\overline{\Psi}}=\tilde{\Psi}\cdot\sqrt{Re}$ — скорости и функция тока системы уравнений с поправочным коэффициентом (2).

Граничные условия на входе в воздушную камеру:

$$\overline{\overline{\Psi}}=\tilde{Y}\cdot\sqrt{Re},\quad \tilde{\Omega}=0,\quad \tilde{C}=0\,.$$

Граничные условия на выходе:

$$\partial\overline{\overline{\Psi}}\big/\partial\tilde{X}=0,\quad \tilde{\Omega}=0,\quad \partial\tilde{C}\big/\partial\tilde{X}=\tilde{Y}_1\big/\tilde{Y}_2\cdot\tilde{C}\cdot Sc\cdot Re\,.$$

Граничные условия на стенках воздушной камеры [4, 5]:

нижняя: $\overline{\overline{\Psi}}=0,\qquad \tilde{\Omega}=\dfrac{2\cdot\left(\overline{\overline{\Psi}}_0-\overline{\overline{\Psi}}_1\right)}{\sqrt{Re}\cdot\tilde{h}^2},\quad \partial\tilde{C}\big/\partial\tilde{X}=0$;

правая: $\overline{\overline{\Psi}}=\tilde{Y}_1\cdot\sqrt{Re},\quad \tilde{\Omega}=\dfrac{2\cdot\left(\overline{\overline{\Psi}}_0-\overline{\overline{\Psi}}_1\right)}{\sqrt{Re}\cdot\tilde{h}^2},\quad \partial\tilde{C}\big/\partial\tilde{X}=0$;

верхняя: $\overline{\overline{\Psi}}=\tilde{Y}_1\cdot\sqrt{Re},\quad \tilde{\Omega}=\dfrac{2\cdot\left(\overline{\overline{\Psi}}_0-\overline{\overline{\Psi}}_1\right)}{\sqrt{Re}\cdot\tilde{h}^2},\quad \partial\tilde{C}\big/\partial\tilde{X}=0$;

левая: $\overline{\overline{\Psi}}=\tilde{Y}_1\cdot\sqrt{Re},\quad \tilde{\Omega}=\dfrac{2\cdot\left(\overline{\overline{\Psi}}_0-\overline{\overline{\Psi}}_1\right)}{\sqrt{Re}\cdot\tilde{h}^2},\quad \partial\tilde{C}\big/\partial\tilde{X}=0$,

где $\tilde{\Omega}$ — значение вектора завихрённости на границе; $\tilde{h}$ — безразмерная длина отрезка от граничной точки «0» до ближайшей к границе точки «1» (безразмерная величина приграничного слоя); $\overline{\overline{\Psi}}_0$ и $\overline{\overline{\Psi}}_1$ — значения функции тока на граничной точке «0» и приграничной точке «1» соответственно.

Численные решения на основе метода конечных элементов. В рассматриваемой модели присутствует параметр, связанный с формулировкой граничных условий ($\tilde{h}$). Были произведены расчёты определения диапазона изменения безразмерной величины приграничного слоя ($\tilde{h}=h\,/\,L_x$), влияющего на сходимость решения.

На рис. 2 показаны результаты расчётов исследуемых параметров (функция тока, вектор завихрённости, скорости и концентрация) при значении приграничного слоя $\tilde{h} = 0{,}01 \cdot \tilde{L}$, где $\tilde{L} = 1$ — безразмерная длина камеры.

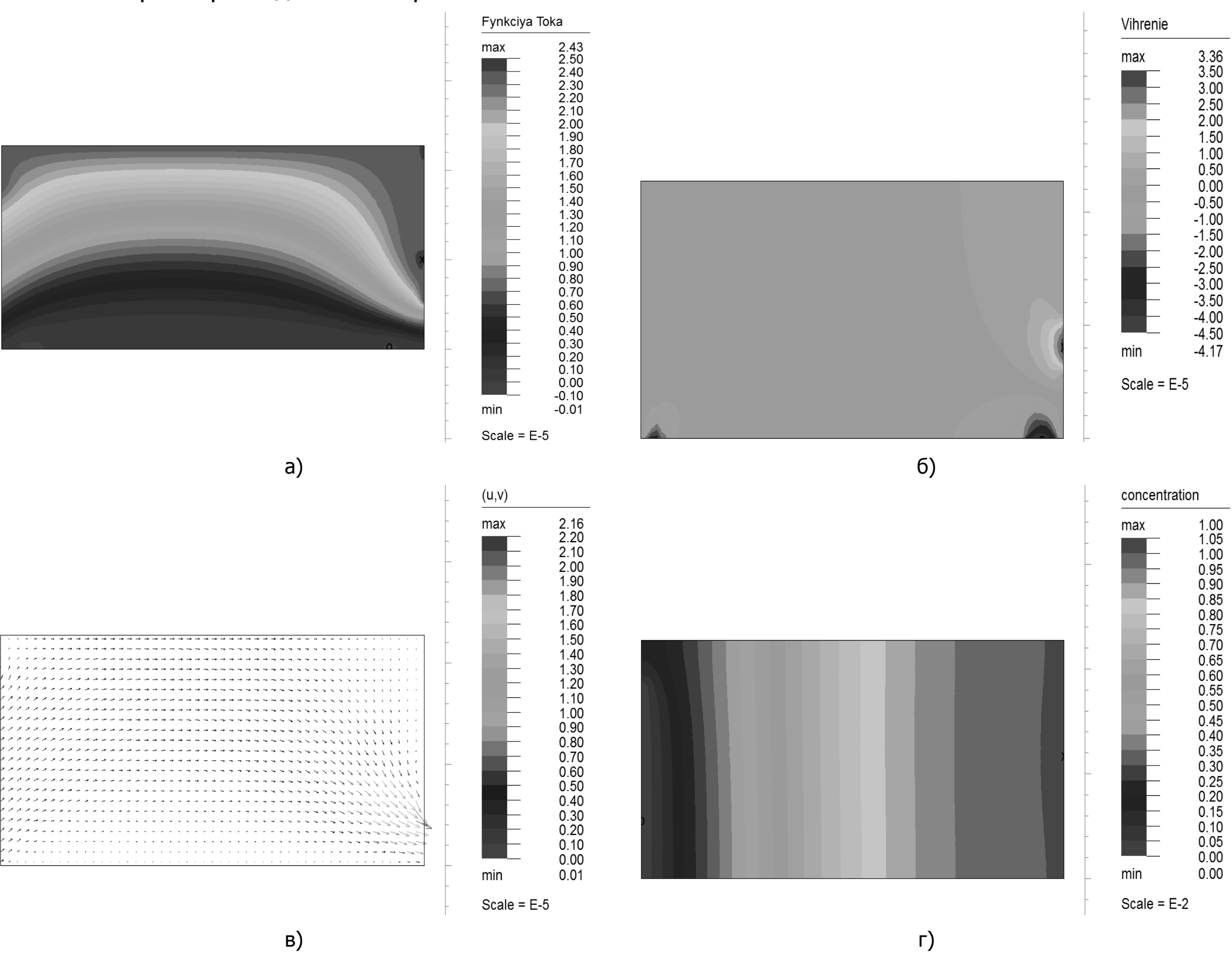


Рис. 2. Результаты расчётов функции тока (а), вектора завихрённости (б), скорости (в) и концентрации (г) при значении приграничного слоя $\tilde{h} = 0{,}01 \cdot \tilde{L}$, где $\tilde{L} = 1$ — безразмерная длина камеры

На рис. 3 показаны результаты расчётов исследуемых параметров при значении пограничного слоя $\tilde{h} = 0{,}001 \cdot \tilde{L}$.

Таким образом, определена величина $\tilde{h}$, при которой система устойчива (рис. 2), и, как видно из рис. 3, а, уменьшение величины $\tilde{h}$ приводит к невозможности получить сходимость решения.

В математической модели также менялась величина входной скорости. Диапазон значений скорости U_{in} (от 0,1 м/с до 0,6 м/с) был принят в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами. Однако сходимость решения при данных параметрах скорости не наблюдалась.

Сходимость наблюдалась в диапазоне скоростей (рис. 4), значительно ниже реальных величин ($U_{in} = 10^{-4}$ м/с и менее).

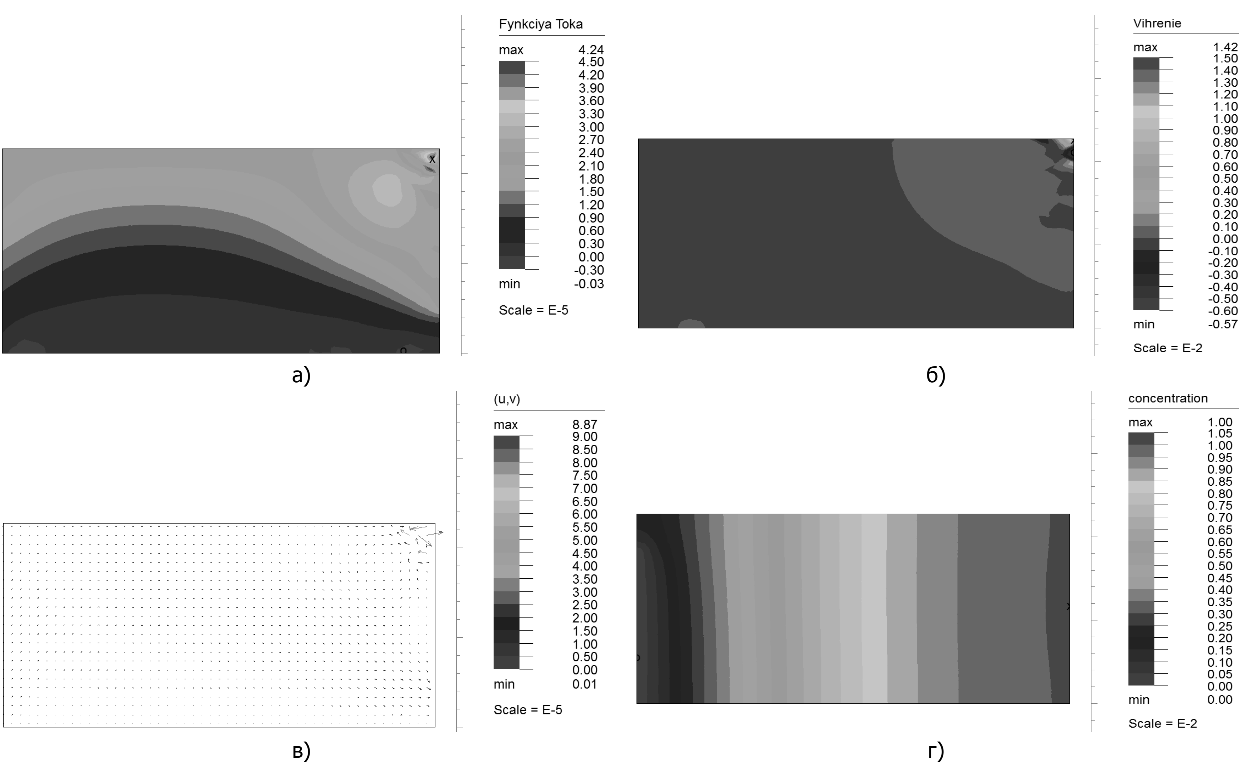


Рис. 3. Результаты расчётов во *FlexPDE* функции тока (а), вектора завихрённости (б), скорости (в) и концентрации (г) при значении пограничного слоя $\tilde{h} = 0,001 \cdot \tilde{L}$

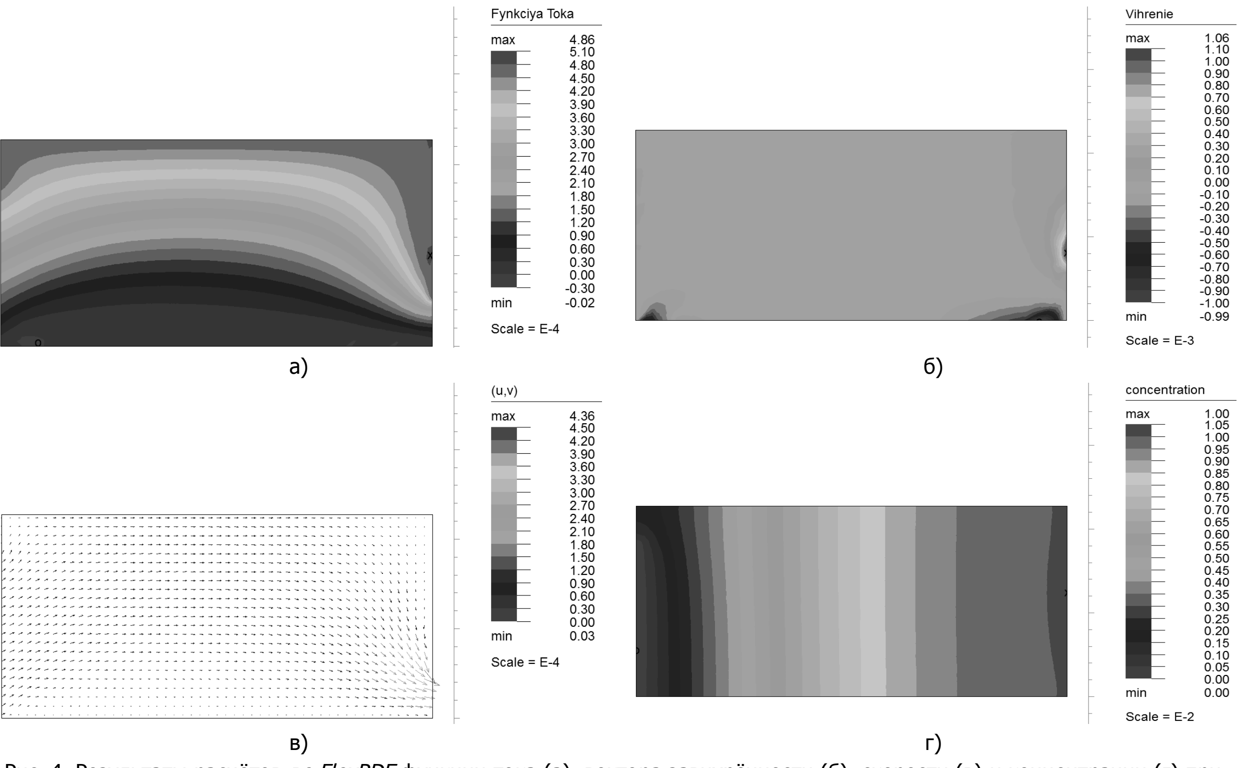


Рис. 4. Результаты расчётов *во FlexPDE* функции тока (а), вектора завихрённости (б), скорости (в) и концентрации (г) при $U_{in} = 10^{-4}$ м/с

Заключение.

1. Проведённые численные эксперименты доказали, что решение исследуемых уравнений в диапазоне нормированных скоростей неустойчиво.

2. Необходим переход к более производительной программной среде, например ANSYS или Solid works.

Библиографический список

1. Маслов, Е. И. Математическое и экспериментальное моделирование процессов распространения оксидов углерода и избытков теплоты в газовоздушной среде помещения / Е. И. Маслов, Б. Ч. Месхи, А. Н. Соловьёв, Ю. И. Булыгин, Д. А. Корончик // Вестн. Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11. — № 6 (57). — С. 862—874.

2. Ясинский, Ф. Н. О решении уравнения Навье — Стокса в переменных «функция тока — вихрь» на многопроцессорной вычислительной машине с использованием системы CUDA / Ф. Н. Ясинский, А. В. Евсеев // Вестн. Иванов. гос. энергетич. ун-та. — 2010. — Вып. 3. — С. 73—75.

3. ScienceDirect — the world's leading full-text scientific database. Access mode: http://www.sciencedirect.com/ (date of access 01.03.2012).

4. Шеремет, М. А. Математическое моделирование нестационарных режимов тепломассопереноса в элементе электронной техники / М. А. Шеремет, Н. И. Шишкин // Вестн. Том. гос. ун-та. — 2011. — Т. 3. — № 2. — С. 124—131.

5. Гадияк, Г. В. Конвекция и перенос тепла в жидкости при пониженной гравитации и учёте термокапиллярных эффектов / Г. В. Гадияк, Е. А. Чеблатова // Вычислительные технологии. — 1999. — Т. 4. — № 5. — С. 10—23.

Материал поступил в редакцию 04.07.2012.

References

1. Maslov, E. I. Matematicheskoe i e`ksperimental`noe modelirovanie processov rasprostraneniya oksidov ugleroda i izby`tkov teploty` v gazovozdushnoj srede pomeshheniya / E. I. Maslov, B. Ch. Mesxi, A. N. Solov`yov, Yu. I. Buly`gin, D. A. Koronchik // Vestn. Don. gos. texn. un-ta. — 2011. — T. 11. — № 6 (57). — S. 862—874. — In Russian.

2. Yasinskij, F. N. O reshenii uravneniya Nav`e — Stoksa v peremenny`x «funkciya toka — vixr`» na mnogoprocessornoj vy`chislitel`noj mashine s ispol`zovaniem sistemy` CUDA / F. N. Yasinskij, A. V. Evseev // Vestn. Ivanov. gos. e`nergetich. un-ta. — 2010. — Vy`p. 3. — S. 73—75. — In Russian.

3. ScienceDirect — the world's leading full-text scientific database. Access mode: http://www.sciencedirect.com/ (date of access 01.03.2012).

4. Sheremet, M. A. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarny`x rezhimov teplomassoperenosa v e`lemente e`lektronnoj texniki / M. A. Sheremet, N. I. Shishkin // Vestn. Tom. gos. un-ta. — 2011. — T. 3. — № 2. — S. 124—131. — In Russian.

5. Gadiyak, G. V. Konvekciya i perenos tepla v zhidkosti pri ponizhennoj gravitacii i uchyote termokapillyarny`x e`ffektov / G. V. Gadiyak, E. A. Cheblatova // Vy`chislitel`ny`e texnologii. — 1999. — T. 4. — № 5. — S. 10—23. — In Russian.

FINITE-ELEMENT MODELING OF CONTAMINATION MASS TRANSFER PROCESSES IN TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT WITH REGARD TO AIRFLOW TURBULENCE

B. C. Meskhi, A. N. Solovyev, Y. I. Bulygin, D. A. Koronchik
(Don State Technical University)

The possibility of determining the air motion fields, temperatures, and the concentrations of harmful substances, based on the finite-element simulation of the pollution mass transfer processes in the occupational environment with regard to the air flow turbulence is studied.
Keywords: *working area, production area, concentration of harmful substances.*

УДК 321.896+06

Математическая модель прогнозирования влияния электромагнитного поля на устойчивость функционирования радиального подшипника, работающего на электропроводящей газовой смазке

К. С. Ахвердиев, Е. О. Лагунова, К. А. Ванеев
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Представлен метод гидродинамического расчёта газодинамического радиального подшипника скольжения, работающего на электропроводящей газовой смазке. Решается вопрос аналитического прогнозирования устойчивости работы подшипника скольжения. Дана оценка влияния числа Гартмана, параметра сжимаемости газа и параметра, характеризующего напряжённость электрического поля, на основные рабочие характеристики подшипника.

Ключевые слова: *газовая смазка, радиальный подшипник, автомодельное решение, сила трения, расход, гидродинамическое давление, несущая способность, устойчивость.*

Введение. Как известно, подшипники с газовой смазкой в настоящее время широко используются в машинах вращательного движения. Анализ существующих работ показывает, что в этой области есть ряд нерешённых проблем. Это, прежде всего, проблема, связанная с аналитическим прогнозированием устойчивости функционирования радиальных подшипников, работающих на электропроводящей газовой смазке при наличии магнитного поля.

Цель настоящей работы — разработать аналитический метод расчёта радиального газодинамического подшипника, работающего на электропроводящей газовой смазке. Дать оценку влияния электромагнитного поля на основные рабочие характеристики подшипника и на устойчивость его функционирования.

Постановка задачи. Рассмотрим установившееся течение электропроводящей газовой смазки в зазоре радиального подшипника при наличии электромагнитного поля. Предполагаем, что подшипник неподвижен, а шип вращается с постоянной угловой скоростью ω.

Будем исходить из уравнений «тонкого слоя» для вязкой несжимаемой жидкости при наличии электромагнитного поля.

Основные уравнения и граничные условия. Запишем для нашей задачи уравнение движения газовой смазки, уравнение неразрывности и уравнение состояния [1]:

$$\frac{\partial P}{\partial r'}=0,\ \mu\frac{\partial^2 \upsilon_\theta}{\partial r'^2}=\frac{1}{r'}\frac{\partial P}{\partial\theta}-\sigma\bar{B}(\bar{E}-\upsilon_\theta\bar{B}),$$
$$P=\rho' RT,\ \frac{\partial}{\partial r'}\left(\rho'\upsilon_{r'}\right)+\frac{\rho'\upsilon_{r'}}{r'}+\frac{1}{r'}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\rho'\upsilon_\theta\right)=0, \quad (1)$$

где $\upsilon_{r'},\upsilon_\theta$ — компоненты вектора скорости; P — гидродинамическое давление в смазочном слое; $\vec{E}=\left\{0,0,\bar{E}\right\}$ — вектор напряжённости электрического поля; $\vec{B}=\left\{\bar{B},0,0\right\}$ — вектор магнитной индукции; σ — электропроводимость газа; ρ′ — плотность; R — удельная газовая постоянная; μ — динамический коэффициент вязкости; r', θ — полярные координаты.

Функции $\bar{E}\left(r',\theta\right)$ и $\bar{B}\left(r',\theta\right)$ считаем заданными, удовлетворяющими уравнениям Максвелла [2, 3]:

$$div\bar{B}=0,\ rot\bar{E}=0. \quad (2)$$

Эти уравнения удовлетворяются при

$$\bar{E} = const,\ \bar{B} = \frac{\varphi'(\theta)}{r'}, \tag{3}$$

где $\varphi'(\theta)$ — заданная радиальная функция.

В полярной системе координат с полюсом в центре шипа уравнения контура и подшипника приближённо можно записать в виде

$$r' = r_0,\ r' = r_1 + e\cos\theta, \tag{4}$$

где r_0 — радиус шипа; r_1 — радиус подшипника; e — эксцентриситет.

Система уравнений (1) решается при следующих граничных условиях:

$$\upsilon_{r'} = 0,\ \upsilon_\theta = 0 \text{ при } r' = r_1 + e\cos\theta;$$
$$\upsilon_{r'} = 0,\ \upsilon_\theta = -\omega r_0 \text{ при } r' = r_0;\quad P(0) = P(2\pi) = \frac{P_д}{P_a}. \tag{5}$$

Перейдём к безразмерным переменным по формулам:

$$\upsilon_{r'} = \omega\delta u,\ \upsilon_\theta = -\omega r_0 \upsilon,\ r' = r_0 + \delta r,\ \delta = r_1 - r_0,\ p(0) = p(2\pi),$$
$$P = p_a p,\ \rho' = \rho^*\rho,\ \rho = p,\ \varphi' = \varphi^*\varphi. \tag{6}$$

Подставляя (6) в (1), с учётом (3) и (5) будем иметь с точностью до членов $O\left(\frac{\delta A}{r_0}\right)$, $O\left(\frac{\delta N}{r_0}\right)$:

$$\frac{\partial^2\upsilon}{\partial r^2} = \frac{1}{\Lambda}\frac{dp}{d\theta} - A\varphi - N\upsilon\varphi^2,\ \frac{\partial}{\partial r}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial\theta}(\rho\upsilon) = 0,$$
$$u = 0,\ \upsilon = 0 \text{ при } 1 + \eta\cos\theta;\ u = 0,\ \upsilon = -p \text{ при } r = 0;\ \eta = \frac{e}{\delta}, \tag{7}$$

где $\Lambda = \frac{\mu\omega r_0^2}{p_a\delta^2}$ — параметр сжимаемости газа; $A = \frac{\sigma\delta^2\bar{E}\varphi^*}{r_0^2\mu\omega}$ — параметр, характеризующий напряжённость электрического поля; $N = \frac{\sigma\delta^2\varphi^{*2}}{\mu r_0^2}$ — число Гартмана.

Точное автомодельное решение задачи. Точное автомодельное решение задачи (1)—(7) будем искать в виде:

$$\rho u = -\frac{\partial\Psi}{\partial\theta} + U(r,\theta),\ \rho\upsilon = \frac{\partial\Psi}{\partial r} + V(r,\theta),\ \varphi = \frac{\varphi_0}{1 + \eta\cos\theta},\ h(\theta) = 1 + \eta\cos\theta. \tag{8}$$

Подставляя (8) в (7) получим следующие выражения:

$$\frac{\partial^3\Psi}{\partial r^3} + N\varphi^2\frac{\partial\Psi}{\partial r} + \frac{\partial V^2}{\partial r^2} + N\varphi^2 V = \frac{\rho}{\Lambda}\frac{dp}{d\theta} - \frac{\rho A\varphi_0}{h(\theta)}$$
$$\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial\theta} = 0. \tag{9}$$

Для решения системы уравнений (9) воспользуемся следующими условиями:

$$U = \tilde{u}(\xi)\eta\sin\theta;\ V = \tilde{\upsilon}(\xi);\ \xi = \frac{r}{h(\theta)};\ \Psi = \tilde{\Psi}(\xi), \tag{10}$$

Подставляя (10) в (9), придём к следующей системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{\rho}{\Lambda}\frac{dp}{d\theta} = \frac{\tilde{C}_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3} + \frac{\rho A\varphi_0}{h},\ \frac{d\tilde{u}}{d\xi} + \frac{d\tilde{\upsilon}}{d\xi}\xi = 0,$$

$$\begin{cases} \dfrac{d^3\tilde{\Psi}}{d\xi^3} + N\varphi_0^2 \dfrac{d\tilde{\Psi}}{d\xi} = \tilde{C}_2, \\ \dfrac{d^2\tilde{\upsilon}}{d\xi^2} + N\varphi_0^2 \tilde{\upsilon} = \tilde{C}_1. \end{cases} \tag{11}$$

Граничные условия для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений (11) будут следующими:

$$\tilde{\Psi}'(0) = 0,\ \tilde{\Psi}'(1) = 0,\ \tilde{u}(0) = 0,\ \tilde{u}(1) = 0,\ \tilde{\upsilon}(0) = -p,\ \tilde{\upsilon}(1) = 0,$$
$$\int_0^1 \tilde{\upsilon}\, d\xi = 0,\ p(0) = p(2\pi) = \frac{P_д}{p_a}. \tag{12}$$

Решая линейные дифференциальные уравнения второго порядка с правой частью (11), с учётом граничных условий (12) найдём выражения для $\tilde{\Psi}'$ и $\tilde{\upsilon}$:

$$\tilde{\Psi}' = \tilde{C}_2 \frac{\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\xi\right)\left(\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) - 1\right)}{\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) N\varphi_0^2} - \tilde{C}_2 \frac{\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\xi\right)}{N\varphi_0^2} + \frac{\tilde{C}_2}{N\varphi_0^2}$$

$$\tilde{\upsilon} = \frac{\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\xi\right)\left(\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) p\varphi_0^2 N + \cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)\tilde{C}_1 - \tilde{C}_1\right)}{\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) N\varphi_0^2} - \frac{\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\xi\right)\left(pN\varphi_0^2 + \tilde{C}_1\right)}{N\varphi_0^2} + \frac{\tilde{C}_1}{N\varphi_0^2}.$$

Из условия $\int_0^1 \tilde{\upsilon}\, d\xi = 0$ найдём $\tilde{C}_1$:

$$\tilde{C}_1 = A_1 \cdot p,$$

где $A_1 = -\dfrac{N^2\varphi_0^2\left(\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)^2 - \cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) + \sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)^2\right)}{-2N\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) + N + N\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)^2 - \sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right) N^{3/2}\varphi_0 + \sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)^2 N}.$

Для нахождения безразмерного гидродинамического давления приходим к следующему уравнению:

$$\frac{p}{\Lambda}\frac{dp}{d\theta} = \frac{\tilde{C}_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3} + \frac{pA\varphi_0}{h}. \tag{13}$$

Интегрируя уравнение (13) от 0 до θ, будем иметь

$$p = \sqrt{\frac{P_д}{p_a}}\sqrt{1 + \frac{2\Lambda p_a}{P_д}\int_0^\theta \left(\frac{\tilde{C}_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3} + \frac{A\varphi_0 p}{h}\right) d\theta}. \tag{14}$$

Решение интегрального уравнения (14) будем искать методом последовательных приближений, полагая в качестве первого приближения $p_0 = 1$. С точностью до $O(\Lambda^2)$ для p_1 получим следующее выражение:

$$p_1 = \sqrt{\frac{P_д}{p_a}}\left[1 + \frac{\Lambda p_a}{P_д}\int_0^\theta \left(\frac{A_1}{h^2} + \frac{\tilde{C}_2}{h^3} + \frac{A\varphi_0}{h}\right) d\theta\right].$$

Из условия $p(0) = p(2\pi)$ с точностью до $O(\eta^2)$ найдём $\tilde{C}_2$:

$$\tilde{C}_2 = -A\varphi_0 - A_1.$$

Тогда выражение для гидродинамического давления p_1 с точностью до $O(\eta^2)$ примет вид:

$$p_1 = \sqrt{\frac{P_д}{p_a}}\frac{1}{P_д}\left[P_д + p_a \Lambda A_1 \eta \sin\theta + p_a 2\Lambda A\varphi_0 \eta \sin\theta\right].$$

Проекции главного вектора вещества смазок $W = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ на шип определяется формулами:

$$R_x = -r_0 \int_0^{2\pi} P \sin\theta d\theta; \ R_y = -r_0 \int_0^{2\pi} P \cos\theta d\theta.$$

Заметим, что в силу периодичности давления P и чётности cosθ второй интеграл соответственно равен нулю. Первый интеграл проще вычислить по частям:

$$R_x = -r_0 \int_0^{2\pi} Pd\left(-\cos\theta\right) = r_0 P \cos\theta\Big|_0^{2\pi} - r_0 \int_0^{2\pi} \frac{dP}{d\theta} \cos\theta d\theta = -r_0 \int_0^{2\pi} \frac{dP}{d\theta} \cos\theta d\theta. \qquad (15)$$

Подставляя выражение для гидродинамического давления в выражение (15), найдём выражение для несущей способности подшипника:

$$W = R_x = \frac{\sqrt{P_д}}{\sqrt{p_a}} \frac{r_0 p_a \pi\Lambda}{P_д} \left(A_1\eta + 2A\varphi_0 + 3A\varphi_0\eta\right). \qquad (16)$$

Найдём силу трения по формуле:

$$L = \mu \int_0^{2\pi} \frac{\partial \bar{\upsilon}_\theta}{\partial r}\Bigg|_{\xi=0} d\theta = \frac{\mu\omega r_0}{\delta} \int_0^{2\pi} \tilde{\upsilon}'(0) d\theta = \frac{2\mu\omega r_0 \pi}{\delta} \left(\frac{\left(A_1 + A\varphi_0^2\right)\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)}{\varphi_0\sqrt{N}\left(\cos\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)+1\right)} - 1 + \sqrt{\frac{P_д}{p_a}} \right). \qquad (17)$$

Найдём расход смазки по формуле:

$$Q = \rho^*\omega\, r_0\delta \int_0^1 \Psi'(\xi) d\xi =$$

$$= \rho^*\omega\, r_0\delta \frac{\tilde{C}_2\left(-2\cos\left(\varphi_o\sqrt{N}\right)N + N + \cos\left(\varphi_o\sqrt{N}\right)^2 N\right)}{N^{5/2}\sin\left(\varphi_o\sqrt{N}\right)\varphi_0^3} - \rho^*\omega r_0\delta \frac{\tilde{C}_2\left(N^{3/2}\varphi_o\sin\left(\varphi_o\sqrt{N}\right) + \sin\left(\varphi_o\sqrt{N}\right)^2 N\right)}{N^{5/2}\sin\left(\varphi_0\sqrt{N}\right)\varphi_0^3}. \qquad (18)$$

Решение задачи об устойчивости. Решение этой задачи приводится на основе следующего безразмерного уравнения движения шипа:

$$\frac{d^2\varepsilon}{dT^2} = -\frac{R_x}{\omega^2 M r_0} + \left(\frac{\bar{\omega}}{\omega}\right)^2 \cos\Phi + \varepsilon\left(\frac{d\Phi}{dT}\right)^2,$$
$$\frac{d^2\Phi}{dT^2} = \frac{R_y}{\varepsilon\omega^2 M r_0} - \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\bar{\omega}}{\omega}\right)^2 \sin\Phi - \frac{2}{\varepsilon}\left(\frac{d\varepsilon}{dT}\right)\left(\frac{d\Phi}{dT}\right). \qquad (19)$$

Здесь $\varepsilon = \frac{e}{r_1 - r_0}$ — относительный эксцентриситет; $T = \omega t$; t — время; ω — угловая скорость вращения шипа; e — эксцентриситет; r_0 — радиус шипа; M — масса шипа; $\bar{\omega} = \left(\frac{g}{\delta}\right)^{1/r}$; δ — радиальный зазор; g — ускорение силы тяжести; R_x и R_y — компоненты вектора поддерживающей силы; Φ — угол наложения.

Явные выражения для R_x и R_y, приведённые выше, показывают, что R_x и R_y существенно зависят от следующих безразмерных параметров: параметра сжимаемости газа Λ, параметра A, характеризующего напряжённость электрического поля, и параметра N, характеризующего число Гартмана. Используя выражения для R_x и R_y, можно получить численное решение системы (19). Компоненты ускорения шипа $\frac{d^2\varepsilon}{dT^2}$ и $\frac{d^2\Phi}{dT^2}$ представляют собой явные функции параметров ε, Φ, $\frac{d\varepsilon}{dT}$, $\frac{d\Phi}{dt}$, Λ, A, N. Уравнения (19) записываются в стандартной форме первого порядка и

решаются с помощью многознакового метода, разработанного Гиром [4]. После получения решения уравнений движения для заданных значений ε, Φ, $\frac{d\varepsilon}{dT}$, $\frac{d\Phi}{dt}$, Λ, *A*, *N* устойчивость рассматриваемого движения определяется визуально по графику. Некоторые модели движения шипа приведены на рисунках 3 и 4. На рис. 3 представлено устойчивое движения шипа при следующих условиях $\eta = 0,01$; $\varepsilon_0 = 0,5$; $\frac{\omega}{\overline{\omega}} = 2,4$; $\Phi = 0,001$; $\Lambda = 0,25$; $A = 0,6$; $N = 0,4$. На рис. 4 представлено неустойчивое движение шипа ($\varepsilon_0 = 0,8$; $\frac{\omega}{\overline{\omega}} = 2,5$; $\Phi = 0,001$; $\Lambda = 0,25$; $A = 0,25$; $A = 0,1$; $N = 0,2$).

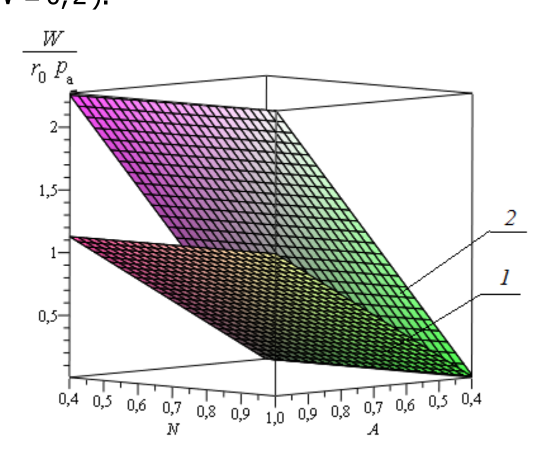


Рис. 1. Зависимость безразмерной несущей способности $\frac{W}{r_0 p_a}$ от числа Гартмана, параметра сжимаемости газа и параметра *A*, характеризующего напряжённость электрического поля. 1 — Λ = 0,25; 2 — Λ = 0,5

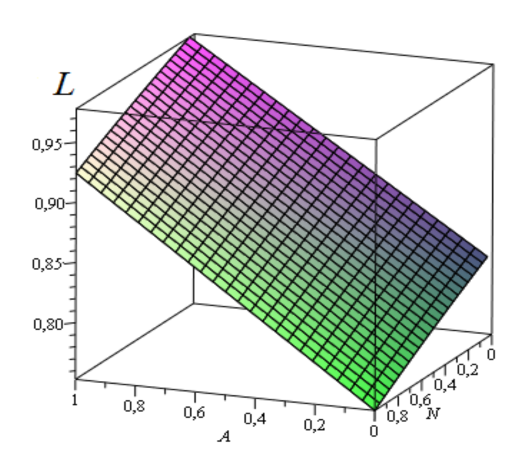


Рис. 2. Зависимость безразмерной силы трения *L* от числа Гартмана и параметра *A*, характеризующего напряжённость электрического поля

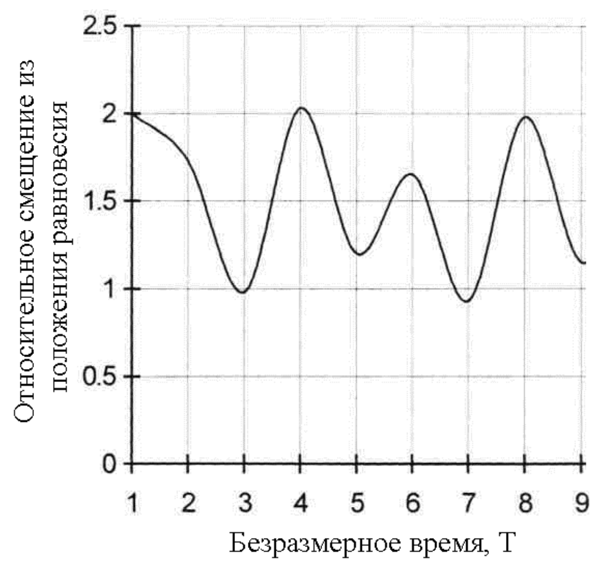


Рис. 3. Движение центра шипа при моделировании устойчивого состояния

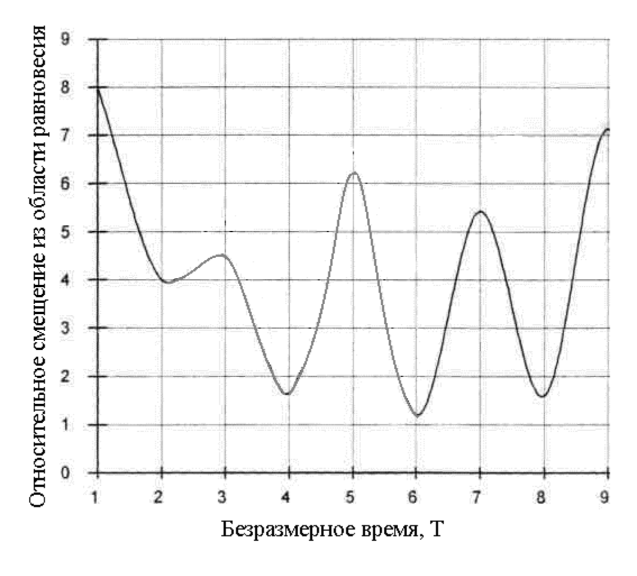
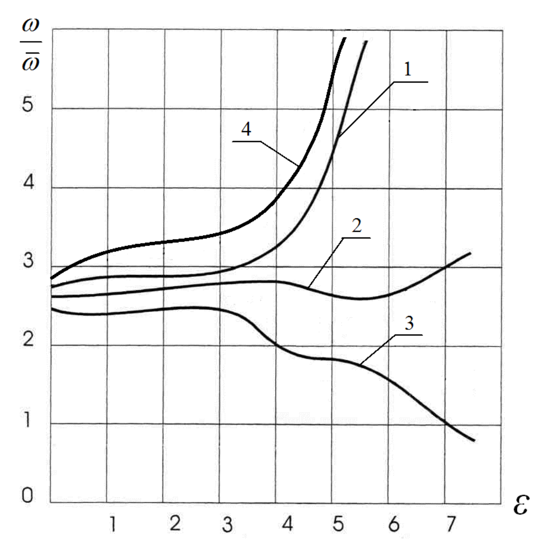


Рис. 4. Движение центра шипа при моделировании неустойчивого состояния



1 — η = 0,0001, A = 0, N = 0; 2 — η = 0,0007, A = 0, N = 0; 3 — η = 0,01, A = 0, N = 0; 4 — η = 0,0001, A = 0,5, N = 0,4

Рис. 5. Область устойчивости движения шипа

Результаты для некоторых значений Φ, ε, Λ, A и N приведены на рис. 5. Все точки, которые лежат ниже кривых, соответствуют устойчивому движению, а все точки, которые лежат выше этих кривых, соответственно — неустойчивому движению шипа. Графики устойчивости определяются такими точками ($\omega/\bar{\omega}$), которые являются неграничными, т. е. соответствуют орбите шипа.

Выводы. Результаты численного анализа аналитических выражений (16)—(18) для основных рабочих характеристик радиального подшипника показывают:

— Число Гартмана не оказывает существенного влияния на несущую способность подшипника (рис. 1). С увеличением параметра A, характеризующего напряжённость электрического поля, и параметра сжимаемости газа имеет место значительное увеличение несущей способности.

— С увеличением параметра A, характеризующего напряжённость электрического поля, безразмерная сила трения возрастает (рис. 2), а с увеличением числа Гартмана уменьшается. Принимая во внимание решение для малого числа приближений, параметр сжимаемости газа не оказывает существенного влияния на безразмерную силу трения.

— С увеличением числа Гартмана расход смазки резко уменьшается. При малых значениях с увеличением параметра A, характеризующего напряжённость электрического поля, расход смазки незначительно возрастает. Принимая во внимание решение для малого числа приближений, параметр сжимаемости газа не оказывает существенного влияния на расход смазочного вещества.

— Из приведённых на рис. 5 зависимостей следует, что в случае электропроводящей газовой смазки область устойчивости движения шипа расширяется.

Библиографический список

1. Ахвердиев, К. С. Основы совершенствования тяжелонагруженных узлов трения транспортных систем / К. С. Ахвердиев, В. И. Колесников, В. М. Приходько. — Москва: Маршрут, 2005. — 336 с.

2. Тамм, И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. — Москва: Наука, 1989. — 504 с.

3. Терлецкий, Я. П. Электродинамика / Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков. — Москва: Высш. шк., 1990. — 353 с.

4. Самарский, А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. — Москва: Наука, 1989. — 432 с.

Материал поступил в редакцию 12.07.2012.

References

1. Axverdiev, K. S. Osnovy` sovershenstvovaniya tyazhelonagruzhenny`x uzlov treniya transportny`x sistem / K. S. Axverdiev, V. I. Kolesnikov, V. M. Prixod`ko. — Moskva: Marshrut, 2005. — 336 s. — In Russian.

2. Tamm, I. E. Osnovy` teorii e`lektrichestva / I. E. Tamm. — Moskva: Nauka, 1989. — 504 s. — In Russian.

3. Terleczkij, Ya. P. E`lektrodinamika / Ya. P. Terleczkij, Yu. P. Ry`bakov. — Moskva: Vy`ssh. shk., 1990. — 353 s. — In Russian.

4. Samarskij, A. A. Chislenny`e metody` / A. A. Samarskij, A. V. Gulin. — Moskva: Nauka, 1989. — 432 s. — In Russian.

MATHEMATICAL PREDICTION MODEL OF ELECTROMAGNETIC FIELD IMPACT ON OPERATION STABILITY OF RADIAL BEARING WORKING ON CONDUCTING GAS LUBRICATION

K. S. Akhverdiyev, E. O. Lagunova, K. A. Vaneyev
(Rostov State Transport University)

The technique of the hydrodynamic calculation of the gasdynamic journal bearing working on the conducting gas lubrication is presented. The analytical prediction problem on the friction bearing operation stability is solved. The assessment of the effect of Hartmann number, the gas compressibility parameter, and the electric stress parameter on the bearing basic operation factors is given.
Keywords: *gas lubrication, radial bearing, self-similar solution, frictional force, consumption, hydrodynamic pressure, bearing capacity, stability.*

УДК 581.1

Капиллярная модель древесных стволов

Ю. М. Вернигоров
(Донской государственный технический университет),
И. А. Кипнис
(Научно-производственная фирма «КАСИОР»)

Исследуется механизм подъёма воды в стволах деревьев силами поверхностного натяжения в капиллярных каналах различного диаметра и конфигурации.
Ключевые слова: *капилляр, ствол, ксилема, транспирация, растение.*

Введение. Структура водопроводящих путей и механизм передвижения воды различны не только в растениях разных видов, но и в пределах одного растения в различных его органах. Чтобы понять, как образуется восходящий транспирационный поток воды в сосудистых растениях, необходимо построить физические модели этого процесса для каждого органа, учитывающие его анатомическое строение, что позволит понять процесс продвижения воды в тканях органов и в растении в целом.

Предположение в [1] о равенстве радиусов всех капилляров в растении достаточно идеализировано. Однако позволяет сделать выводы о возможном механизме образования специфической формы растений капиллярными системами. Кроме того, можно предположить, что поверхностное натяжение водного мениска в капиллярах проводящего пучка мезофилла порождает движущую силу, создающую восходящий транспирационный поток.

В качестве изучаемого объекта выберем стебель древесного растения. Анатомическое строение его клеточных структур, водопроводящих элементов и тканей подробно описано и иллюстрировано в работах [2—4]. В клеточных тканях растений различают ближний и дальний транспорт воды и водных растворов. Ближний транспорт осуществляется по апопласту и эндопласту, по клеточным стенкам, и, вследствие высокого сопротивления клеточных и межклеточных тканей движению воды, эффективен только на малых расстояниях — до 0,2 мм. Дальний транспорт, вертикальное продвижение воды в стволах деревьев, осуществляется специализированными капиллярными водопроводящими тканями: трахеидами и сосудами, вытянутыми вдоль направления подъёма воды. В хвойных растениях вертикальная капиллярная структура представлена исключительно трахеидами, занимающими свыше 90 % объёма древесины. В древесине лиственных пород такую функцию выполняют сосуды и трахеиды, в том числе сосудистые и волокнистые [4]. Такая водопроводящая капиллярная ткань носит название ксилемы.

Различают первичную ксилему, образующуюся из клеток прокамбия, и вторичную, порождаемую клетками камбия. Прокамбий образует протоксилему — растущие в длину трахеиды кольчатого и спирального типа, и метаксилему, образующуюся по окончании роста органа в длину. Трахеиды метаксилемы, как правило, пористые, но бывают сетчатого и спирального вида с тесно сближенными витками спирали вторичной стенки [2, 3]. В стволе дерева трахеиды в годовых кольцах обычно собраны в радиальные ряды, в которых крупные первичные трахеиды протоксилемы выполняют в основном проводящую функцию. Крупные трахеиды постепенно сменяются более мелкими с толстыми стенками. Они являются упрочняющей механической структурой и не участвуют в проведении воды. У ранних трахеид средний радиальный размер составляет для лиственных и хвойных пород соответственно 52 и 40 мкм, а у поздних трахеид — 22 и 20 мкм. Тангенциальный размер в обоих случаях примерно 30 мкм. Средняя длина трахеид у лиственницы

2,6 мм, у сосны — 2,8 мм, а у ели — от 2,6 до 5 мм. На радиальных стенках, особенно у концов ранних трахеид, имеется от 70 до 90 крупных окаймлённых пор с округлыми отверстиями. В поздних трахеидах поры могут быть и на тангенциальных стенках. Диаметр окаймлённых пор колеблется от 8 до 31 мкм, а диаметр отверстии в порах — от 4 до 8 мкм [4]. В смежных трахеидах поры образуются строго друг против друга. Трахеиды в последовательной цепочке перекрываются концевыми частями примерно на одну треть своей длины. Смежные кольчатые и лестничные трахеиды проводят воду в горизонтальном направлении через проницаемую плёнку, а пористые — через рыхлую замыкающую плёнку поры или через пору с торусом. Большое сопротивление движению воды через одиночную пору компенсируется множеством одновременно проводящих воду пор в стенке трахеиды.

У хвойных растений крупные окаймлённые поры располагаются только на радиальных стенках, и благодаря расположению трахеид соседних рядов в разных уровнях трахеиды соседних радиальных рядов могут передавать воду друг другу, обеспечивая её подъём.

В деревьях лиственных пород в капиллярном подъёме воды кроме трахеид участвуют сосуды, которые занимают у разных пород от 10 до 55% объёма ствола. Сосуды образуются путём соединения концов пористых трахеид с последующей их перфорацией. При этом образуются вертикальные трубки, длина которых может достигать нескольких метров. У сосудов ранней зоны диаметр может быть от 200 до 400 мкм, а сосудов поздней зоны — от 270 до 580 мкм. Перфорации между объединёнными трахеидами иногда сохраняют форму пор, но чаще они разрушаются, и на месте замыкающей пору плёнки образуется перфорированная пластинка с одним большим (реже — с несколькими меньшими) отверстием, что до минимума снижает сопротивление току воды. Сосуды в стволе проходят в большинстве своём волнообразно изогнуто, что позволяет им контактировать между собой. Окаймлённые поры на стенках сосудов чаще всего располагаются диагональными рядами (очередная поровость) и через эти поры сосуды сообщаются друг с другом и с трахеидами.

По мере роста дерева часть ксилемы образует не проводящее и не содержащее воду ядро (спелую древесину), а восходящий ток воды происходит по капиллярам ксилемы более поздних годичных слоёв, носящих название заболони. Обычно заболонь включает ксилему, образовавшуюся за 2—3 последних вегетационных сезона [3], но по данным [4] в раннем возрасте древесина всех пород состоит только из заболони и с течением времени начинается образование ядра. Например, у дуба ядро образуется на 8—12-й год, а заболонь бывает узкой, у сосны ядро образуется в возрасте 30—35 лет, что обусловливает наличие широкой заболони. В пределах самой заболони наиболее активно (до 80—90 % объёма) проводит воду ксилема последнего вегетационного периода. Это, например, показано в экспериментальных исследованиях сокодвижения в дубе черешчатом [5].

Как было показано выше, в капиллярной системе ксилемы в контакте могут находиться трахеиды и сосуды разных высот и диаметров.

Поэтому стоит задаться вопросом о том, как изменится продвижение воды в капиллярах, если капиллярная трубка будет разного диаметра и разной формы, что и является целью данной работы.

Теоретическая модель. Допустим, что мы имеем капиллярную трубку, нижняя часть которой имеет радиус r_1, а радиус верхней $r_2 < r_1$ (см. рис. 1). При этом высота нижней части, выступающая над поверхностью воды, равна h. Обозначим общую высоту подъёма воды в капиллярной трубке через H, а высоту подъёма её в капилляре радиуса r_2 через x. Уравнение, описывающее подъём воды в такой трубке, будет выглядеть следующим образом:

$$\pi r_1^2 \rho g h + \pi r_2^2 \rho g x = 2\pi r_2 \sigma \cos\alpha , \qquad (1)$$

откуда:

$$x = 2\sigma\cos\alpha / r_2\rho g - h\left(r_1^2 / r_2^2\right) = h_2 - h\left(r_1^2 / r_2^2\right), \quad (2)$$

где h_2 — высота подъёма воды в капилляре радиуса r_2, если бы не было нижнего капилляра.

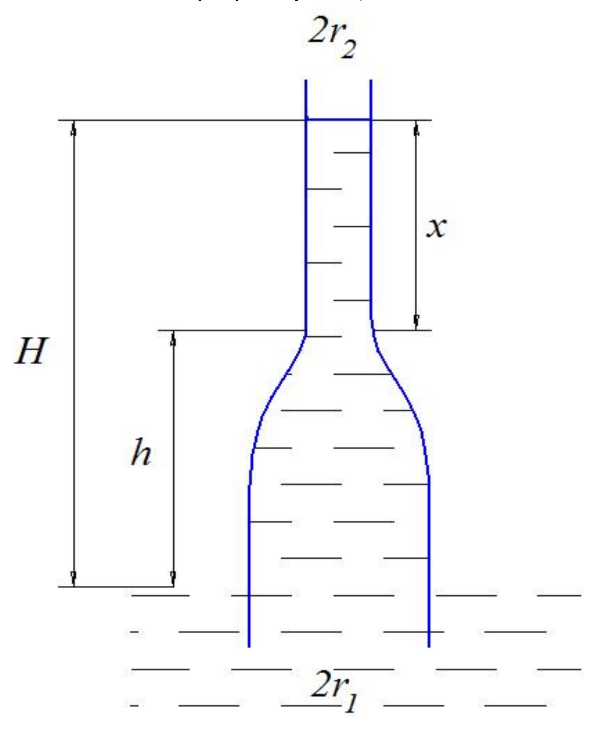


Рис. 1. Модель капилляра переменного сечения при $r_2 < r_1$

Общая высота подъёма воды в капиллярной трубке равна:

$$H = h + x = h + h_2 - h\left(r_1^2 / r_2^2\right) = h_2 + h\left(1 - r_1^2 / r_2^2\right) \quad (3)$$

Из (3) следует, что если $r_2 = r_1$, то $H = h_2$, как и в случае одиночного капилляра радиуса r_2.

Если $r_1 > r_2$, то разность $1 - r_1^2 / r_2^2$ отрицательна и высота подъёма воды в капилляре рассматриваемой модели меньше, чем в цилиндрическом капилляре радиуса r_2. Это связано с тем, что с увеличением радиуса r_1 в нижней части капиллярной трубки объём поднимаемой в капилляре воды увеличивается, а сила поверхностного натяжения в капилляре радиуса r_2 остаётся постоянной. При некотором значении r_1 вес воды в капилляре большего радиуса станет равным силе поверхностного натяжения, и вода при дальнейшем увеличении этого радиуса будет опускаться до величины h_1, соответствующей максимальной высоте подъёма воды в капилляре большего радиуса. Высота h, на которой это происходит, является критической.

Если $r_1 < r_2$, то разность $1 - r_1^2 / r_2^2$ имеет положительный знак и высота подъема воды H стремится по мере увеличения r_2 к величине $h_2 + h$, что физически нереально. Этому случаю соответствует модель на рис. 2. Уравнение, описывающее подъём воды в таком капилляре, будет иметь вид:

$$\pi r_2^2 \rho g h + \pi r_1^2 \rho g x = 2\pi r_1 \sigma \cos\alpha, \quad (4)$$

а высота подъёма воды H в этом случае составит

$$H = h_1 + x = h_1 + h - h\left(r_2^2 / r_1^2\right) = h_1 + h\left(1 - r_2^2 / r_1^2\right) \quad (5)$$

где h_1 — высота подъёма воды в вертикальном капилляре радиуса r_1. если бы не было нижнего капилляра. Из выражения (5) следует, что при $r_1 = r_2$ имеем $H = h_1$.

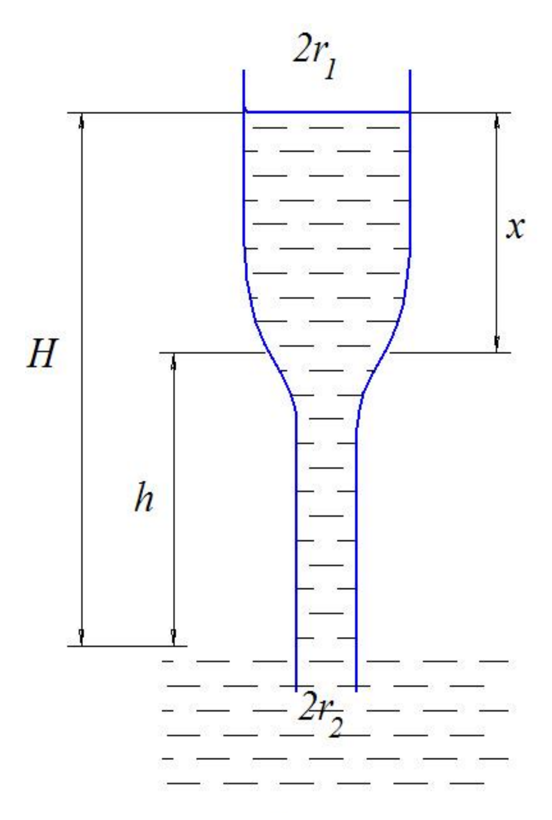


Рис. 2. Модель капилляра переменного сечения при $r_1 < r_2$

При $r_1 > r_2$ высота подъёма воды в капилляре стремится к $h_1 + h$. Действительно, с увеличением r_1 объём воды в этой части капилляра увеличивается (в нижней части меньшего радиуса объём остаётся постоянным), но сама величина h_1 уменьшается, так как сила поверхностного натяжения обратно пропорциональна радиусу капилляра. И общая высота подъёма воды H в этом случае уменьшается. При $r_1 < r_2$ физический смысл теряется и следует пользоваться выражением (3).

Соотношения (3) и (5) позволяют определить условия, при которых вода в капилляры другого сечения (расположенные выше) поступать не будет. Полагая в этих выражениях $x = 0$, получим для первой и второй моделей соответственно:

$$h_2 = h\left(r_1^2 / r_2^2\right) \to h = h_2\left(r_2^2 / r_1^2\right) = h_1\left(r_2 / r_1\right) \quad (6)$$

$$h_1 = h\left(r_2^2 / r_1^2\right) \to h = h_1\left(r_1^2 / r_2^2\right) = h_2\left(r_1 / r_2\right) \quad (7)$$

Предположим теперь, что в первой модели над цилиндрическим капилляром радиуса r_1 имеется n цилиндрических капилляров одинакового радиуса r_2 (рис. 3), вписанных в окружность радиуса r_1.

Определим высоту x подъёма воды в n капиллярах и общую высоту подъёма воды H. Уравнение, описывающее подъём воды в n капиллярах, может быть записано в виде:

$$\pi r_1^2 \rho g h + n\pi r_2^2 \rho g x = n 2\pi r_2 \sigma \cos\alpha\,, \quad (8)$$

откуда высота подъёма воды в них равна

$$x = h_2 - \frac{1}{n} h\left(r_1^2 / r_2^2\right), \quad (9)$$

а общая высота подъёма воды H равна

$$H = h + x = h_2 + h\left(1 - \frac{1}{n}\left(r_1^2 / r_2^2\right)\right) \quad (10)$$

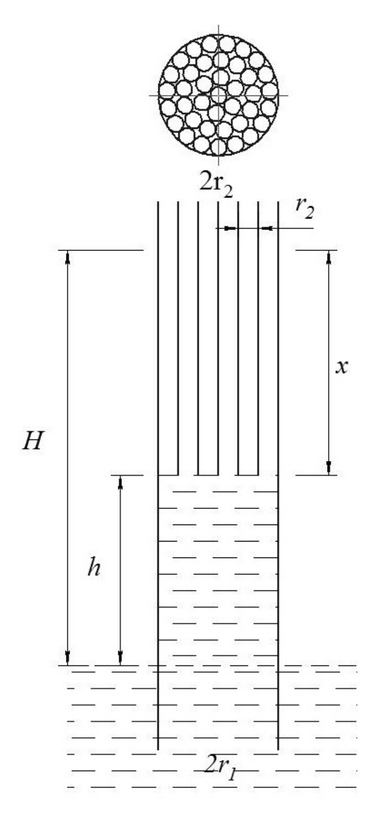


Рис. 3. Модель перехода капилляра в систему из *n* капилляров

Из (10) следует, что при $r_1 = r_2$ ($n = 1$) получим $H = h_2$. В общем же случае высота подъёма воды H зависит от количества капилляров и от отношения r_1^2 / r_2^2. С увеличением n высота подъёма воды возрастает, а с увеличением отношения радиусов высота подъёма воды уменьшается. Критическое значение высоты $h_{кр}$, при котором вода в тонкие капилляры не поступает ($x = 0$), определяется из (9) и равно

$$h_{кр} = nh_2\left(r_2^2 / r_2^2\right). \qquad (11)$$

Равенство (11) позволяет утверждать, что при данном соотношении количества капилляров и их радиусов, суммарная сила поверхностного натяжения их менисков достаточна только для поддержания воды в капилляре радиуса r_1 на высоте $h_{кр}$.

Действительно, при условии, что n принимает значения 1 и 2, а $r_2 = r_1/2$ (рис. 4), из (10) можно определить высоты подъёма воды для каждого значения n:

$$H_{n=1} = h_2 + h\left(1 - \left(4r_2^2 / r_2^2\right)\right) = h_2 - 3h,$$

$$H_{n=2} = h_2 + h\left(1 - \frac{1}{2}\left(4r_2^2 / r_2^2\right)\right) = h_2 - h.$$

Разность высот подъёма равна:

$$H_{n=2} - H_{n=1} = h_2 - h - h_2 + 3h = 2h.$$

Критические значения $h_{кр}$ для $n = 1$ и $n = 2$ соответственно равны:

$$h_{кр\ n=1} = h_2\left(r_2^2 / 4r_2^2\right) = \frac{1}{4}h_2,$$

$$h_{кр\ n=2} = 2h_2\left(r_2^2 / 4r_2^2\right) = \frac{1}{2}h_2.$$

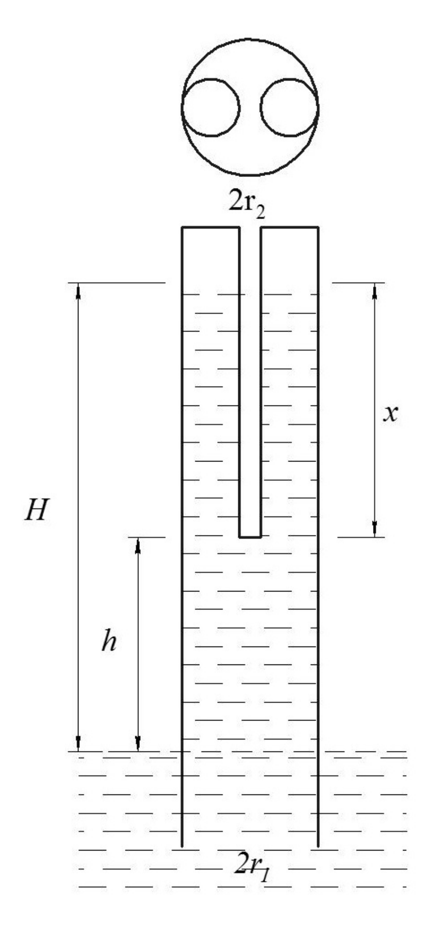


Рис. 4. Модель перехода капилляра в систему из n = 2 капилляров

Из последних соотношений, очевидно, что при увеличении количества капилляров уровень воды в них поднимается, а критическое значение h увеличивается.

Для второй модели (рис. 5) в случае n капилляров уравнение подъёма воды может быть записано в виде:

$$n\pi r_2^2\rho gh + \pi r_1^2\rho gx = 2\pi r_1\sigma\cos\alpha , \qquad (12)$$

а высота подъёма воды H запишется в виде:

$$H = h_1 + h\left(1 - n\left(r_2^2 / r_1^2\right)\right). \qquad (13)$$

Из уравнения (13) следует, что при $r_2 = r_1$ (n = 1) имеем $H = h_1$. При увеличении n и отношения r_1/r_2 и выполнении условия $n\left(r_2^2 / r_1^2\right) = 1$ общая высота подъёма воды не будет превосходить h_1.

Используя уравнение (13) можно определить высоты подъёма воды для n = 1, n = 2 и $r_2 = r_1/2$ (рис. 6):

$$H_{n=1} = h_1 + h\left(1 - \left(r_2^2 / 4r_2^2\right)\right) = h_1 + \frac{3}{4}h ,$$

$$H_{n=2} = h_1 + h\left(1 - 2\left(r_2^2 / 4r_2^2\right)\right) = h_1 + \frac{1}{2}h ,$$

Разность высот подъёма равна:

$$H_{n=2} - H_{n=1} = h_1 + \frac{1}{2}h - h_1 - \frac{3}{4}h = -\frac{1}{4}h .$$

Таким образом, уровень воды при увеличении количества капилляров уменьшается, что объясняется увеличением объёма воды, поднимаемой верхней частью капилляра радиуса r_1 при сохранении в нём постоянной силы поверхностного натяжения.

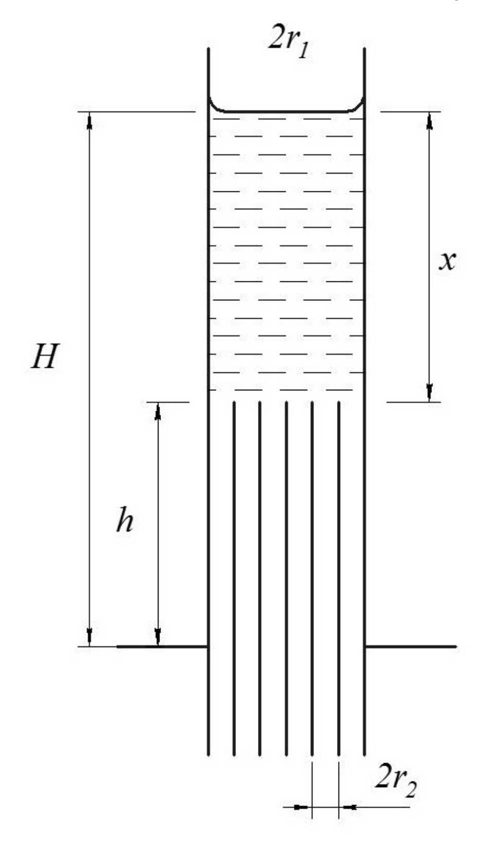


Рис. 5. Модель перехода *n* капилляров в один

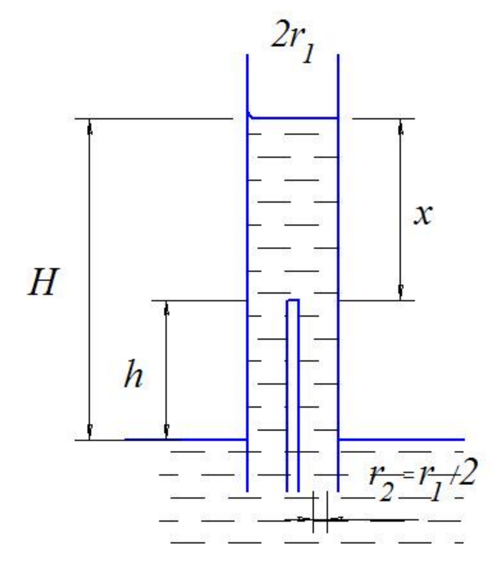


Рис. 6. Модель перехода системы из *n* = 2 капилляров в один

Аналогом капилляра переменного сечения в живой природе могут служить трахеи (сосуды) ксилемы. При слиянии конечных (торцевых) стенок клеток, образующих трахею происходит перфорация (разрыв) стенки с образованием перфорационной пластинки, имеющей одно или несколько сквозных отверстий ([2], стр. 88, [3], стр. 117, 118). При этом внутренняя часть образовавшегося капилляра частично перекрывается.

В связи с этим представляет интерес рассмотреть подъём воды в капилляре радиуса r_1, изображённом на рис. 7, в котором в поперечном сечении имеются перегородки с отверстием радиуса r_2. Примем для определённости, что высоты первого вертикального участка капилляра над поверхностью воды и всех последующих сегментов одинаковы и равны *h*, толщина перегородки $l \ll h$, а сама величина *h* много меньше критического значения, определяемого из формул (6) и (7).

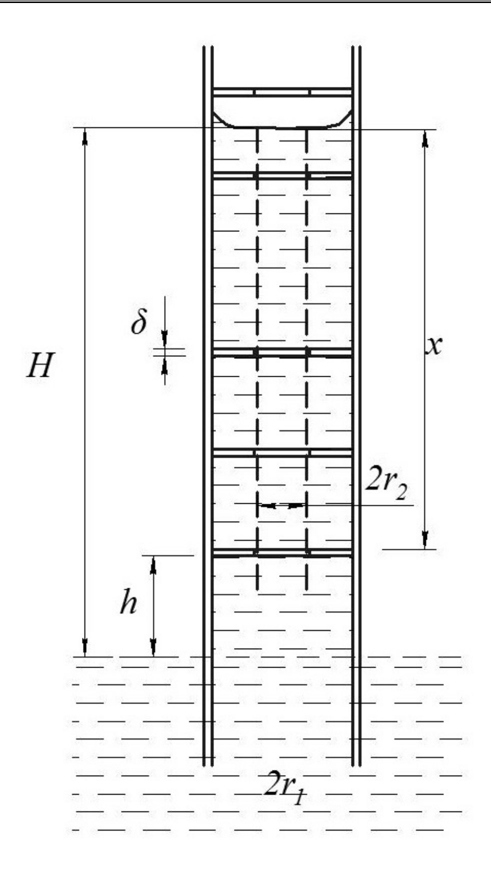


Рис. 7. Модель капилляра с внутренними перегородками

Уравнение, описывающее подъём воды в таком капилляре, может быть записано в следующем виде:

$$\pi r_1^2 cgh + \pi r_2^2 cgx = 2n\pi r_1 y \cos \alpha \qquad (14)$$

Физический смысл записанного уравнения заключается в следующем. В рассматриваемом капилляре в каждом сегменте, за исключением первого (нижнего), часть веса воды компенсируется силами упругости перегородки, на которую она действует. Не скомпенсированными остаются только вес столба жидкости с радиусом r_2 (см. пунктир на рис. 7), а также вес жидкости в самом нижнем сегменте. Это нашло отражение в левой части уравнения (14). Сила же поверхностного натяжения в данном случае пропорциональна большему радиусу r_1. Получается, что в рассматриваемой структуре большая сила поверхностного натяжения обеспечивает подъём воды в капилляре (условном) с меньшим радиусом.

Из (14) следует, что

$$\pi r_2^2 cgx = 2\pi r_1 y \cos \alpha + \pi r_1^2 cgh\,, \qquad (15)$$

откуда

$$x = \left(2\pi r_1 y \cos \alpha\right) / \left(\pi r_2^2 cg\right) - \left(\pi r_1^2 cgh\right) / \left(\pi r_2^2 cg\right) = \left(2 r_1 y \cos \alpha\right) / \left(r_2^2 cg\right) - h\frac{r_1^2}{r_2^2} = h_2 r_1 / r_2 - h\frac{r_1^2}{r_2^2} \qquad (16)$$

Общая высота подъёма воды в таком капилляре будет равна:

$$H_{об} = h + h_2 r_1 / r_2 - h\frac{r_1^2}{r_2^2} = h_2 r_1 / r_2 + h\left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right) \qquad (17)$$

Из (17) следует, что при $r_1 = r_2$ $H_{об} = h_2$, что соответствует подъёму воды в одиночном капилляре радиуса r_2.

Определим, как изменится подъём воды в рассмотренном нами случае по сравнению с приведённым на рис. 1. Для этого, вычитая из (17) соотношение (4) получим:

$$H_{об} - H = h_2 r_1 / r_2 + h\frac{r_1^2}{r_2^2} - h_2 - h\left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right) = h_2\left(r_1 / r_2 - 1\right), \quad (18)$$

откуда следует, что с увеличением разницы в радиусах r_1 и r_2 увеличивается и высота подъёма воды в капилляре (рис. 7) по сравнению с капилляром рис. 2. Так, если $r_1 = 2r_2$, то из (18) следует, что

$$H_{об} - H = h_2 .$$

То есть в рассмотренном нами случае высота подъёма воды увеличилась вдвое по сравнению с капилляром, показанным на рис. 1, и уж тем более — по сравнению с одиночным капилляром радиуса r_1. При $r_1 < r_2$ правая часть (18) становится отрицательной, следовательно, $H_{об} < H$. При $r_1 = r_2$ разность высот в (18) равна нулю. Полученный результат показывает, что наличие перфорированной поперечной перегородки в капилляре большого радиуса, при прочих равных условиях может привести к увеличению высоты подъёма воды в нём и, следовательно, к увеличению её объёма в капилляре.

Если в перфорационной пластинке имеется несколько сквозных отверстий малого радиуса, то подъём воды в таком капилляре может возрасти по сравнению с капилляром, рассмотренным выше. К такому же результату может привести и несоосное расположение отверстий в перфорационных пластинках.

Трахеи ксилемы не обязательно расположены вертикально и могут при своём прохождении в стволе изгибаться. Рассмотрим, как будет продвигаться вода в капилляре радиуса r_1, изображённом на рис. 8, а, в котором часть капилляра длиной l наклонена к горизонту под углом β. Обозначим высоту выступающей над водой части капилляра до его наклонённой части через h, высоту продвижения воды в вертикальной части после наклонного участка через x, а общую высоту подъёма воды в капилляре через H. Уравнение, описывающее подъём воды в таком капилляре, может быть записано в следующем виде:

$$\pi r_1^2 cgh + \pi r_1^2 lcg \sin\beta + \pi r_1^2 cgx = 2\pi r_1 y \cos\alpha \quad (19)$$

откуда

$$x = \left(2\pi r_1 y \cos\alpha\right) / \left(\pi r_1^2 cg\right) - \left(\pi r_1^2 lcg \sin\beta\right) / \left(\pi r_1^2 cg\right) - \left(\pi r_1^2 cgh\right) / \left(\pi r_1^2 cg\right) = h_1 - l \sin\beta - h \quad (20)$$

Полагая $x = 0$, можно получить максимально возможную длину $l_{макс}$ наклонного участка капилляра при заданном h:

$$l_{макс} = \left(h_1 - h\right) / \sin\beta \quad (21)$$

или, задавая l, определить максимально возможную высоту $h_{макс}$:

$$h_{макс} = h_1 - l \sin\beta . \quad (22)$$

Из (21) и (22) следует, что при изменении β от 0° до 90° величина $l_{макс}$ изменяется соответственно от ∞ до $h_1 - h$, а $h_{макс}$ — от h_1 до $h_1 - l$.

Величина общего продвижения L воды в капилляре будет равна:

$$L = h + l + x = h + l + h_1 - l \sin\beta - h = h_1 + l\left(1 - \sin\beta\right), \quad (23)$$

а высота подъёма воды H в капилляре с учётом (21) и (22) будет равна:

$$H = h + l \sin\beta + x = h + l \sin\beta + h_1 - l \sin\beta - h = h_1 . \quad (24)$$

Из (23) и (24) следует, что общая высота подъёма воды H в таком капилляре не зависит от угла наклона его средней части и всегда равна высоте подъёма воды в вертикальном капилляре того

же радиуса, а величина продвижения воды L в капилляре зависит от радиуса капилляра и угла наклона его средней части.

Так при β = 90°, $L = h_1$, а при β = 0° $L = h_1 + l = H + l$. (25)

При этом, если величина h_1 определена радиусом капилляра, то величина l ничем не ограничена и может принимать любые значения, но в любом случае H равна h_1. Отсюда следует вывод, что одна и та же сила поверхностного натяжения воды в капилляре заданного радиуса может перемещать объём воды больший, чем в вертикальном капилляре того же радиуса, при наличии в нём участков, параллельных поверхности воды в сосуде.

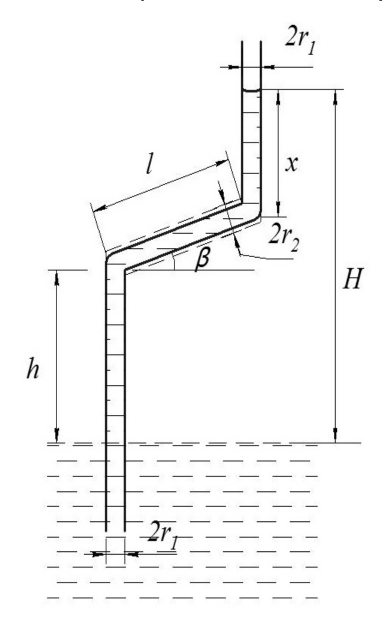


Рис. 8, а. Модель непрямолинейного капилляра

Если наклонная часть капилляра имеет диаметр, не равный диаметрам вертикальных частей капилляра (см. пунктир на рис. 8, а), то уравнение (19) примет вид

$$\pi r_1^2 cgh + \pi r_2^2 lcg \sin\beta + \pi r_1^2 cgx = 2\pi r_1 y \cos\alpha, \quad (26)$$

откуда

$$x = (2\pi r_1 y \cos\alpha)/(\pi r_1^2 cg) - (\pi r_2^2 lcg \sin\beta)/(\pi r_1^2 cg) - (\pi r_1^2 cgh)/(\pi r_1^2 cg) = h_1 - \frac{r_2^2}{r_1^2} l \sin\beta - h \quad (27)$$

Полагая x = 0 и задавая величины h или l, получим значения $l_{макс}$ и $h_{макс}$ в виде:

$$l_{макс} = \frac{r_2^2}{r_1^2}(h_1 - h)/\sin\beta, \quad (28)$$

$$h_{макс} = h_1 - \frac{r_1^2}{r_2^2} l \sin\beta, \quad (29)$$

а соотношения для L и H примут вид:

$$L = h_1 + l\left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}\sin\beta\right),$$
$$H = h_1 + \left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}\right) l \sin\beta. \quad (30)$$

При изменении угла в от 0° до 90° величина $l_{макс}$ изменяется в пределах от ∞ до $\frac{r_2^2}{r_1^2}(h_1 - h)$, а $h_{макс}$ от h_1 до $h_1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}l$ и при $r_1 = r_2$ совпадают с выражениями (24) и (25). Величина L при этом изменяется в пределах от $h_1 + l$ до $h_1 + \left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}\right)l$, а H от h_1 до $h_1 + \left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}\right)l$ и при $r_1 = r_2$ совпадают с (26). Из (30) следует, что при $r_1 < r_2$ величины L и H уменьшаются, а при $r_1 > r_2$ увеличиваются по сравнению со случаем $r_1 = r_2$**.** Физически это означает, что одна и та же сила поверхностного натяжения удерживает меньший или больший объём воды. Но при β = 0 величины L и H не зависят от соотношения величин r_1 и r_2, и в рассмотренном капилляре в горизонтальном направлении может перемещаться любой объём воды под действием любой силы поверхностного натяжения.

Для более сложной капиллярной системы радиуса r_1, изображённой на рис. 8, б и содержащей m наклонённых под углом β и параллельных друг другу участков длиной l, с расстоянием между ними равным Δh, уравнение продвижения воды может быть записано в виде:

$$\pi r_1^2 cgh + 2(m-1)\pi r_1^2 cg\Delta h + m\pi r_1^2 lcg\sin\beta + \pi r_1^2 cgx = 2\pi r_1 y\cos\alpha \qquad (31)$$

$$\pi r_1^2 cgx = 2\pi r_1 y\cos\alpha - \pi r_1^2 cg\left(h + 2(m-1)\Delta h + ml\sin\beta\right) \qquad (32)$$

откуда

$$x = h_1 - h - 2(m-1)\Delta h - ml\sin\beta, \qquad (33)$$

$$H = h + 2(m-1)\Delta h + l\sin\beta + x = h + 2(m-1)\Delta h + h_1 - 2(m-1)\Delta h - ml\sin\beta = \\ = h_1 + (1-m)l\sin\beta. \qquad (34)$$

Задавая попарно в (30) величины h, m и l и полагая $x = 0$, можно получить значения $l_{макс}$, $h_{макс}$ и $m_{макс}$ в виде

$$l_{макс} = \left(h_1 - h - 2(m-1)\Delta h\right)/\,m\sin\beta,\quad h_{макс} = h_1 - 2(m-1)(\Delta h - l\sin\beta), \\ m_{макс} = (h_1 - h + 2\Delta h)/(2\Delta h - l\sin\beta). \qquad (35)$$

Из (35) следует, что при заданном h $l_{макс}$ и $h_{макс}$ уменьшаются по мере увеличения количества наклонных участков, расстояния между ними (т. е. с увеличением объёма поднимаемой воды) и угла наклона β. По этой же причине уменьшается величина $m_{макс}$. При $m = 1$ соотношения (35) преобразуются в (21) и (22). Из (34) следует, что общая высота подъёма воды в рассматриваемой системе зависит только от количества, длины наклонных частей и их угла наклона β, с увеличением которых высота подъёма воды уменьшается и становится равной нулю при $h_1 = (1-m)l\sin\beta$.

При β = 90° (рис. 8, в) $H = h_1 + (1-m)l$. При $m = 1$ вода поднимается до h_1 — высоты её подъёма в одиночном капилляре радиуса r_1. При $m > 1$ высота подъёма воды уменьшается и при $l > (h_1 - h)/m$ продвижение воды в верхний вертикальный капилляр не происходит. При β = 0° высота подъёма воды в рассматриваемой системе (рис. 8, г) не зависит от количества горизонтальных частей (m) и всегда равна h_1.

При этом независимо от количества горизонтальных участков не требуется приложения дополнительных сил, а подъём воды обеспечивает только сила поверхностного натяжения в одиночном вертикальном капилляре верхнего уровня. Легко показать, как это было сделано выше, что радиусы капилляров горизонтальной части такой системы не влияют на высоту подъёма воды. Увеличение или уменьшение этих радиусов приводит соответственно к уменьшению или к увеличению сопротивления передвижению воды.

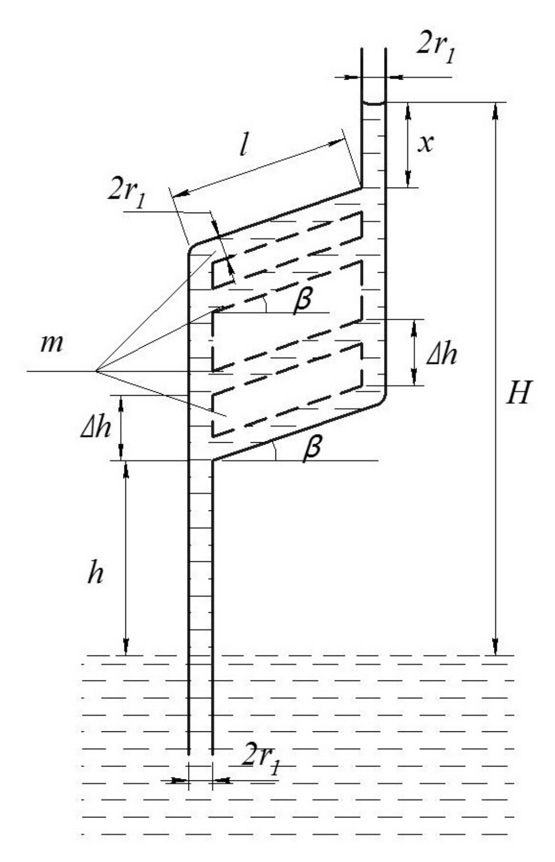


Рис. 8, б. Модель капиллярной системы с m наклонными участками

Полученный результат полностью согласуется с реальным процессом передачи воды от трахеиды к трахеиде, описанным в [2—4]: процесс передачи воды между многочисленными строго соосными порами трахеид различных вертикальных ярусов происходит строго горизонтально, а малые проходные сечения пор компенсируются их количеством. При наличии данных о скорости продвижения воды через реальные поры трахеид разных диаметров (которыми мы не располагаем) можно, подбирая радиусы горизонтальных капилляров с учётом их сопротивления движению воды, численно смоделировать процесс передачи воды в трахеидах.

Рассмотрим далее, как будет продвигаться вода в капиллярной структуре, изображённой на рис. 9. Примем радиус погружённого в воду одного капилляра и горизонтальной части равными r_1, высоту его над поверхностью воды до горизонтальной части равной h, а радиусы n капилляров над горизонтальной частью равными r_2. Тогда уравнение подъёма воды в каждом из капилляров может быть записано в виде

$$\frac{1}{n}\pi r_1^2 cgh + \pi r_2^2 lcgx = 2\pi r_2 y \cos\alpha, \qquad (36)$$

и решением его будет:

$$x = h_2 - \frac{1}{n}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)h, \qquad (37)$$

величина $h_{кр}$, при которой подъёма воды в верхних капиллярах не происходит ($x = 0$), определится из соотношения

$$h_{кр} = nh_2\left(\frac{r_2^2}{r_1^2}\right), \qquad (38)$$

а количество капилляров при этом

$$n_{кр} = h / \left(h_2 \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \right). \qquad (39)$$

Высота подъёма воды в такой капиллярной структуре равна

$$H = h + x = h + h_2 - \frac{1}{n}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)h = h_2 + \left[1 - \frac{1}{n}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right]h. \qquad (40)$$

Из (40) следует, что H при выполнении условия $h < h_{кр}$ не зависит от взаимного расположения капилляров верхнего ряда, а определяется только их количеством и соотношением радиусов капилляров под и над горизонтальной его частью. При этом, если $n \to \infty$, то $H \to h_2 + h$, физический смысл этого в том, что весь вес жидкости в капилляре высотой h поддерживается большим количеством капилляров верхнего уровня. При $r_1 = r_2$ $H = h_2 + \left(1 - \frac{1}{n}\right)h$, то есть с увеличением количества капилляров высота подъёма воды в системе стремится к величине $h + h_2$. Изменение соотношения радиусов капилляров может привести как к увеличению, так и к уменьшению высоты подъёма воды.

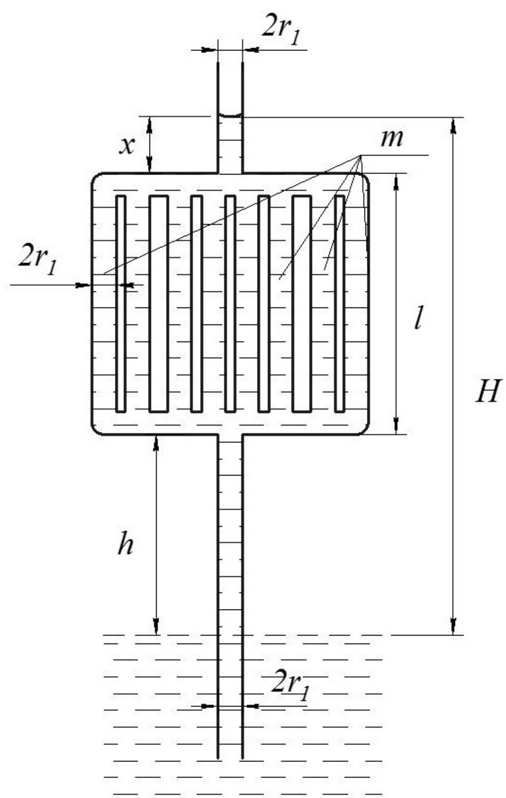


Рис. 8, в. Модель капиллярной системы с m участками при β = 90

В рассмотренном нами случае через один капилляр нижнего уровня вода заполняла всю капиллярную систему. И чем больше количество капилляров во втором уровне, тем медленнее происходит заполнение системы водой. Кроме того, такая система ограничивает имеющееся множество степеней свободы капилляров второго уровня наличием одного капилляра в первом уровне. И любые изменения в капилляре нижнего уровня (например, закупорка или деформация) могут привести к невозможности поступления воды в систему.

Иначе обстоит дело, когда к горизонтальному участку рассмотренной системы в нижнем уровне подводит воду не один, а *q* (см. пунктиры на рис. 9) капилляров. В этом случае уравнение (36) может быть записано в виде:

$$\frac{g}{n}\pi r_1^2 cgh + \pi r_2^2 cgx = 2\pi r_2 y \cos \alpha, \qquad (41)$$

откуда

$$x = h_2 - \frac{g}{n}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)h, \qquad (42)$$

$$h_{кр} = \frac{g}{n}h_2\left(\frac{r_2^2}{r_1^2}\right);\ \frac{g}{n} = h_{кр} \Big/ \left(h_2\left(\frac{r_2^2}{r_1^2}\right)\right). \qquad (43)$$

Величина *H* для этой системы может быть определена из уравнения

$$H = h_2 + \left[1 - \frac{g}{n}\left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)\right]h. \qquad (44)$$

Из (44) следует, что с увеличением g от 1 до n величина $H \to h_2$, а при увеличении n от 1 до ∞ $H \to h_2 + h$. Изменение же соотношения радиусов капилляров верхнего и нижнего уровней также приводит к увеличению или уменьшению *H*. Но при $r_1 = r_2$ и $g = n$ высота подъёма воды в капиллярах равна высоте подъёма воды в одиночном вертикальном капилляре того же радиуса. В случае $g > n$ $r_1 = r_2$ высота подъёма воды будет уменьшаться и при g и n = const зависит только от соотношения радиусов верхнего и нижнего уровней: по мере увеличения r_1 *H* будет уменьшаться до полного прекращения подъёма воды в капиллярах верхнего уровня. При одновременном изменении количества капилляров и их радиусов в обоих уровнях условием максимально возможного подъёма воды будет стремление к нулю второго слагаемого в скобках в (44), что возможно либо при увеличении количества капилляров второго уровня и (или) их радиуса, либо при уменьшении количества капилляров нижнего уровня и (или) их радиуса.

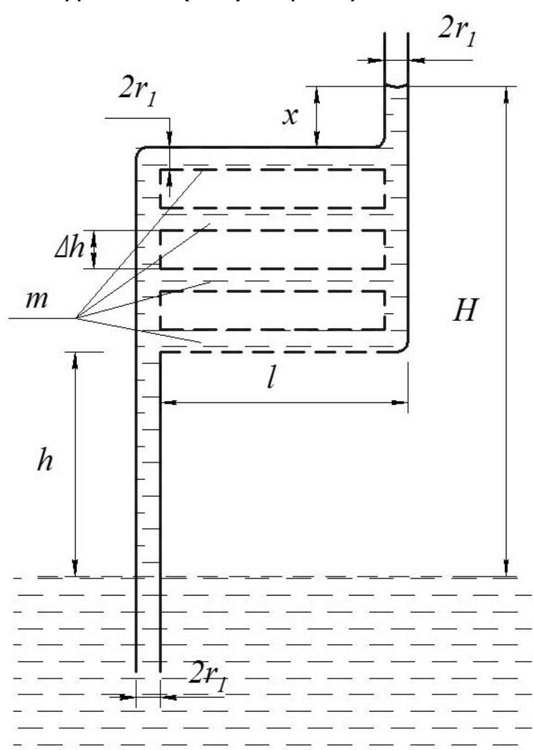


Рис. 8, г. Модель капиллярной системы с *m* участками при β = 0°

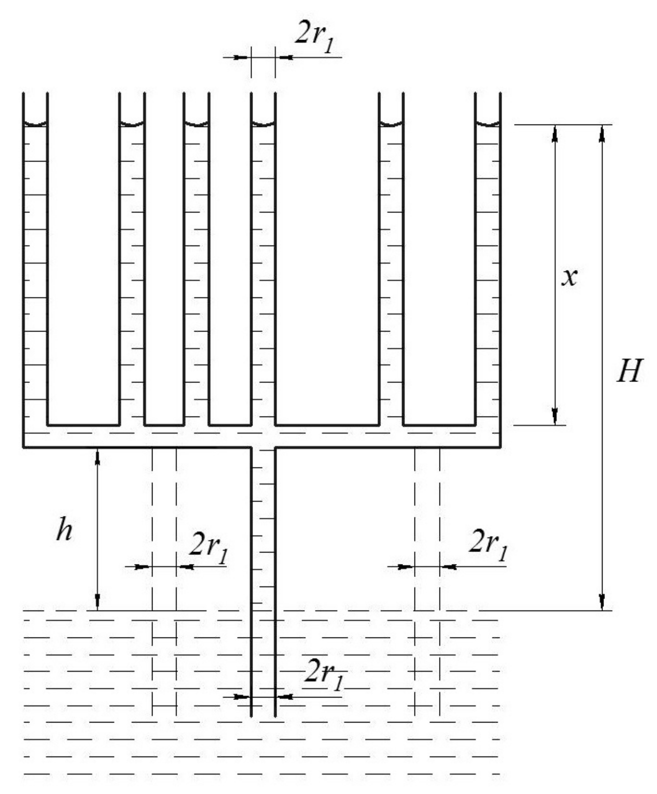


Рис. 9. Модель незамкнутой системы капилляров равного диаметра

В случае $n \gg q$ (при прочих равных условиях) капиллярная система имеет значительно больше степеней свободы. Так, любые изменения в одном или в нескольких капиллярах каждого уровня приведут лишь к перераспределению воды в системе. То есть вода получает *свободу* перемещения в системе в любом направлении, когда выполняется условие:

$$qr_1^2 \le qr_2^2 \tag{45}$$

Рассмотрение модели двухуровневой капиллярной системы показало, что с увеличением количества капилляров второго уровня подъём воды в системе увеличивается. Это будет выполняться и для последующих, третьего и более высоких уровней, каждый из которых имеет началом капилляры предыдущего уровня, и приведёт к увеличению подъёма воды в капиллярной системе при условии, что для каждого последующего уровня по отношению к предыдущему выполняется условие (45), которое в общем случае примет вид:

$$\sum q_i r_i^2 \le \sum n_i r_{i+1}^2 \tag{46}$$

Умножая обе части (46) на п получим

$$\sum q_i \text{п} r_i^2 \le \sum n_i \text{п} r_{i+1}^2 \, . \tag{47}$$

Физический смысл последнего соотношения состоит в том, что для подъёма воды в многоярусной капиллярной системе необходимо, чтобы суммарная площадь капилляров каждого последующего уровня была не меньше суммарной площади капилляров предыдущего уровня. При этом увеличивается возможность *свободного* перемещения воды в системе. Согласно [4] по высоте ствола число сосудов и площадь их сечения возрастают по направлению от комля к вершине. Учитывая, что кроме сосудов и трахеид ствола в водопроводящую систему растения входит ещё и разветвлённая сосудистая система ветвей разных уровней и сосудистая система листьев этих уровней, можно полагать постоянство выполнения в растении условия (47) и, следовательно, говорить о высокой степени подвижности воды в растении.

Представим, что на рис. 9 капилляры верхнего и нижнего уровней почти примыкают друг к другу. В этом случае коротенькие отрезки горизонтальных капилляров между вертикальными — упрощённая модель порового сообщения между сосудами. Учитывая это и полученные нами выше формулы (17) и (18), можно утверждать, что наличие в сосудах поперечных перфорированных пластин предполагает возможность подъёма воды в сосудах ксилемы на большую высоту (по сравнению со случаем отсутствия таких пластин), обеспечивая при этом построение проводящих сосудов ксилемы большой протяжённости.

Из физиологии растений и экспериментальных исследований [4] известно, что у древесных лиственных пород сосудистая система ксилемы устроена по-разному. У одних она выглядит как кольцо крупных сосудов (аналогично рис. 9, но расположенных в виде кольца) в ранней зоне годичного слоя и как пучки мелких сосудов в зоне позднего годичного слоя (рис. 10) и носит название кольцесосудистой. У других сосуды ксилемы внутри заболони не образуют пучка и кольца, а более или менее равномерно распределены по всей площади заболони, и такая ксилема называется рассеянно-сосудистой и в проведении воды участвуют сосуды совместно с трахеидами (трахеально-сосудистая система). Через поровое взаимодействие сосуды и трахеиды могут образовывать горизонтальные пути прохождения воды в ксилеме. Кроме ксилемы вода в горизонтальном направлении перпендикулярно оси ствола может передаваться по другим тканям растения. Такими тканями в растущем дереве являются сердцевинные лучи, осуществляющие перенос питательных веществ и воды от периферии ствола к его сердцевине (см. [4], рис. 1.10, а, поз. 3).

Количество сердцевинных лучей в ткани дерева велико и доходит до 15000 на 1 см^2 на тангенциальном срезе отдельных пород. Наибольшее количество сердцевинных лучей находится в нижней части ствола и уменьшается к кроне, а их объём у лиственных растений может достигать 15 % общего объёма древесины [4]. Наличие в стволе горизонтально проводящих воду тканей и их контактов с проводящими элементами ксилемы также подтверждает соответствие рассмотренной нами модели действительности.

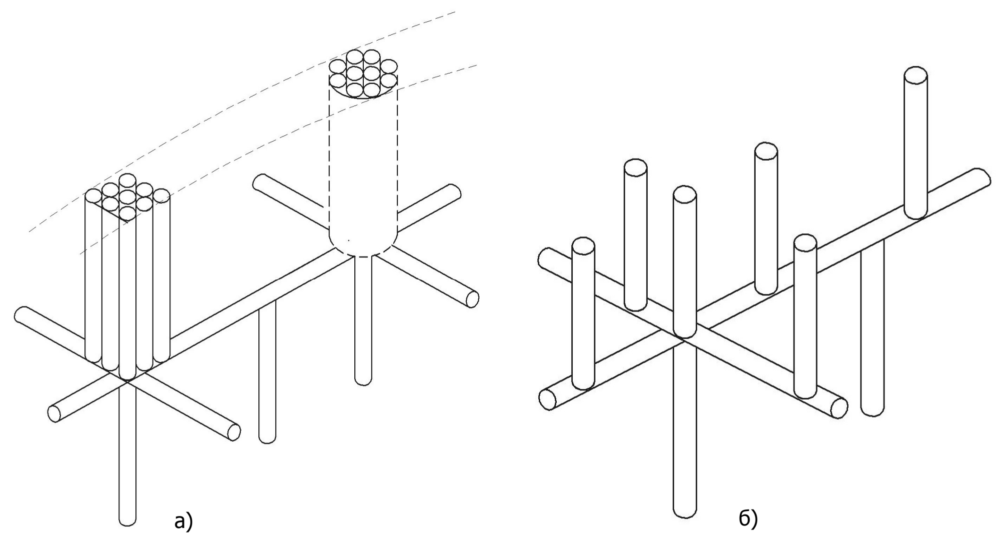


Рис. 10. Схема кольцесосудистой (а) и трахеально-сосудистой (б) систем расположения капилляров

Выводы. Из практики известно, что полное удаление значительной части заболони с одной стороны ствола не приводит к гибели дерева. Проводящие ткани древесины продолжают функционировать, и со временем, дерево восстанавливает нарушенные функции. Если удалить полностью часть заболони параллельно с обеих сторон ствола, то дерево неизбежно гибнет. Объяснить это можно, исходя из модели строения проводящей ткани заболони (сосудов разных типов ксилем), как условно показано на рис. 10. При одностороннем удалении части заболони восстановление

возможно, если сосудистая система ксилемы кроме восходящей составляющей потока воды имеет и горизонтальную составляющую, объединяющую сосудистую систему в единое целое. Тогда в сосудистой системе растения произойдёт лишь перераспределение движения воды и ткани, лежащие выше удалённой части заболони не пострадают благодаря наличию горизонтальной составляющей водного потока. А наличие воды в горизонтальной части проводящей системы, как было показано выше, не влияет на продвижение воды в капиллярах и не требует дополнительных сил для подъёма воды. Измениться при этом может только скорость подъёма воды в сосудистой системе дерева. При двустороннем удалении части заболони количество (q) подводящих снизу сосудов уменьшается и согласно (43) величина $h_{кр}$ становится столь малой, что достаточного поступления воды в растение не происходит, и это приводит к его гибели. Для полноты картины необходимо помнить о нарушении процесса образования питательных веществ, нисходящего тока веществ по флоэме и связанного с ним обмена веществ в растении.

Библиографический список

1. Вернигоров, Ю. М. Математическое моделирование распределения жидкости в ветвящихся капиллярных системах / Ю. М. Вернигоров, И. А. Кипнис // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10. — № 8 (51). — С. 1195—1206.
2. Лотова, Л. И. Ботаника. Морфология и анатомия высших растений / Л. И. Лотова; изд. 4-е, доп. — Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 512 с.
3. Тимонин, А. К. Ботаника. Высшие растения / А. К. Тимонин — Москва: Издательский центр «Академия», 2007. — Т. 3. — 349 с.
4. Уголёв, Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б. Н. Уголёв. — Москва: Издательский центр «Академия», 2010. — 272 с.
5. Жиренко, Н. Г. Изучение сокодвижения в стволе дуба черешчатого термоэлектрическим методом / Н. Г. Жиренко // Лесоведение. — 1994. — № 6. — С. 46—52.

Материал поступил в редакцию 06.09.2011.

References

1. Vernigorov, Yu. M. Matematicheskoe modelirovanie raspredeleniya zhidkosti v vetvyashhixsya kapillyarny`x sistemax / Yu. M. Vernigorov, I. A. Kipnis // Vestnik Donskogo gos. texn. un-ta. — 2010. — T. 10. — № 8 (51). — S. 1195—1206. — In Russian.
2. Lotova, L. I. Botanika. Morfologiya i anatomiya vy`sshix rastenij / L. I. Lotova; izd. 4-e, dop. — Moskva: Knizhny`j dom «LIBROKOM», 2010. — 512 s. — In Russian.
3. Timonin, A. K. Botanika. Vy`sshie rasteniya / A. K. Timonin — Moskva: Izdatel`skij centr «Akademiya», 2007. — T. 3. — 349 s. — In Russian.
4. Ugolyov, B. N. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie / B. N. Ugolyov. — Moskva: Izdatel`skij centr «Akademiya», 2010. — 272 s. — In Russian.
5. Zhirenko, N. G. Izuchenie sokodvizheniya v stvole duba chereshchatogo termoe`lektricheskim metodom / N. G. Zhirenko // Lesovedenie. — 1994. — № 6. — S. 46—52. — In Russian.

CAPILLARY MODEL OF TREE TRUNKS

Y. M. Vernigorov
(Don State Technical University),
I. A. Kipnis
("KASIOR" Research and Production Company)

The water lifting mechanism in the tree trunks acting by the surface tension forces in the capillary channels of various diameters and configurations is investigated.

Keywords: *capillary, trunk, xylem, transpiration, plant.*

УДК 621.91-533.6

К вопросу о коэффициенте распределения теплового потока в зоне деформации при резании

Ф. А. Висторопская, А. А. Рыжкин, С. А. Моисеенко
(Донской государственный технический университет)

Получена уточнённая формула для определения доли тепла от деформации в плоскости сдвига, поступающего в стружку; полученные результаты расчёта коэффициента распределения теплового потока для случая точения сплавом ВК8 жаропрочной стали 12Х18Н10Т удовлетворительно согласуются с литературными данными.
Ключевые слова: *тепловой поток, напряжения сдвига, коэффициент распределения тепловых потоков.*

Введение. Тенденции развития современного машиностроения направлены на интенсификацию процессов механической обработки. Сокращение машинного времени при резании как резерва обеспечения максимальной производительности операции предполагает использование станков с ЧПУ и ГПС. Применяемые форсированные режимы резания для твердосплавного инструмента обусловливают высокие температуры, которые в принципе не должны превышать температуры тепло-, коррозионной стойкости и диффузионного взаимодействия. В этой связи возникает проблема априорной оценки уровня температур в зоне резания с учётом возможно большего количества факторов процесса резания. В настоящее время известно сравнительно большое количество аналитических температурных зависимостей, составляющих базу тепловой динамики трения [1—4].

Определение коэффициента распределения тепловых потоков при резании. Проблема тепловой динамики трения и резания в итоге сводится к расчётной оценке температур на контакте или её распределении в трущихся телах. Эта задача решается методом источников или методом баланса. Метод баланса основан на решении контактных тепловых задач для каждого элемента пары трения при граничных условиях I—IV рода, и определения долей тепла в каждом из них, т. е. находится коэффициент распределения теплового потока.

Этот классический метод был эффективно использован при расчёте температурных полей при изнашивании и инструментальных режущих материалов [4].

В условиях контактного взаимодействия при резании материалов на тепловое состояние режущего инструмента, кроме тепла от трения по передней $Q_{пп}$ и задней $Q_{зп}$ поверхностям, влияет ещё и тепло, выделяемое в зоне деформации $Q_{ф}$ (рис. 1, плоскость ОА). Потоки $Q_{пп}$ и $Q_{зп}$ аналитически определяются без проблем, так как касательные напряжения $\tau_{пп}$ и $\tau_{зп}$ находятся по известным из механики резания зависимостям [2] [6], включающим предел прочности на разрыв обрабатываемого материала $\sigma_{в}$.

Для оценки напряжений в плоскости сдвига ОА $\tau_{ф}$ предложены различные зависимости полуэмпирического вида, согласно которым значения $\tau_{ф}$ для различных обрабатываемых матриалов колеблются в значительных пределах: для точения стали 45 сплавом Т15К6 $\tau_{ф} = (318...1593)\cdot 10^6$Па; для сплава ВК8 при обработке стали 12Х18Н10Т — $\tau_{ф} = (115...1398)\cdot 10^6$Па, и титанового сплава ВТ3-1 — $\tau_{ф} = (128... 1834)\cdot 10^6$Па.

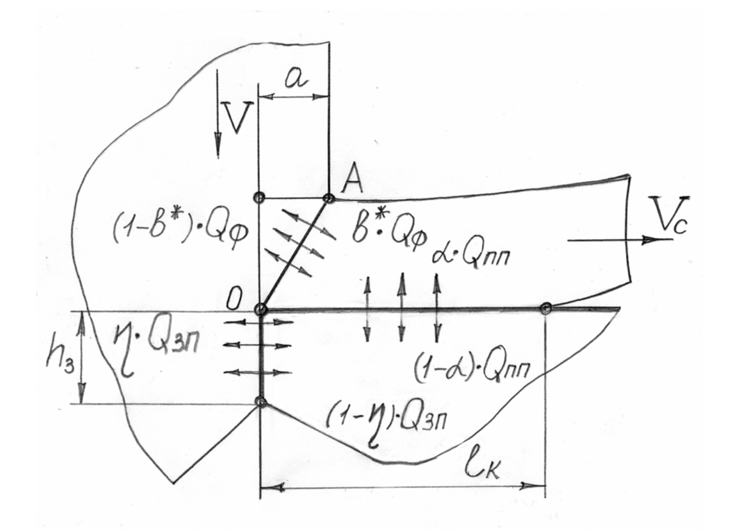


Рис. 1. Схема распределения тепловых потоков в зоне контакта при резании

Поэтому величину τ_ϕ можно рассчитать для конкретных условий резания косвенным путём. Согласно известному уравнению теплового баланса в зоне резания [2, 3, 8]:

$$Q_\phi = Q - (Q_{пп} + Q_{зп}), \tag{1}$$

где: Q — общее количество тепла, выделенное в зоне резания, $Q_{пп}$ — теплота трения по передней поверхности, $Q_{зп}$ — теплота трения по задней поверхности.

Но $Q = P_z \cdot V$, $Q_{ПП} = \tau_{ПП} \cdot l_k \cdot b \cdot V_c$, $V_c = V/k_a$, $Q_{зп} = \tau_{зп} \cdot h_з \cdot b \cdot V$, а теплота в зоне деформации Q_ϕ (формула 1) равна:

$$Q_\phi = \tau_\phi \cdot V_\phi \cdot \frac{a \cdot b}{\sin\phi}, \tag{2}$$

где τ_ϕ — касательное напряжение сдвига, V_ϕ — скорость сдвига, b — ширина среза, ϕ — угол сдвига.

Из (1) и (2) имеем:

$$\tau_\phi = \frac{P_z \cdot V - \left[(\tau_{пп} \cdot l_k \cdot b \cdot V_c) + \tau_{зп} \cdot h_з \cdot b \cdot V\right]}{V_\phi \cdot \dfrac{a \cdot b}{\sin\phi}} = \frac{P_z \cdot V - \left[(\tau_{пп} \cdot l_k \cdot b \cdot V/k_a) + \tau_{зп} \cdot h_з \cdot b \cdot V\right]}{V_\phi \cdot \dfrac{a \cdot b}{\sin\phi}}, \tag{3}$$

где P_z — тангенциальная составляющая силы резания, V — скорость резания, V_c — скорость движения стружки, k_a — коэффициент утолщения стружки, l_k — длина контакта по передней поверхности, $h_з$ — износ по задней поверхности, $\tau_{пп}$ — касательное напряжение по передней поверхности, $\tau_{зп}$ — касательное напряжение по задней поверхности.

Так как $V_\phi = \dfrac{V \cdot \cos\phi}{\cos(\phi - \gamma)}$, то:

$$\tau_\phi = \frac{\left\{P_z - \left[(\tau_{пп} \cdot l_k \cdot b / k_a) + \tau_{зп} \cdot h_з \cdot b\right]\right\} \cdot \sin\phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}{\cos\phi \cdot a \cdot b} = \frac{\left\{P_z - \left[(\tau_{пп} \cdot l_k \cdot b / k_a) + \tau_{зп} \cdot h_з \cdot b\right]\right\} \cdot \mathrm{tg}\,\phi \cdot \cos(\phi - \gamma)}{a \cdot b} \tag{4}$$

Из (4) следует, что для каждого режима экспериментально надо определить главную составляющую силу резания P_z, коэффициент утолщения стружки k_a; остальные параметры рассчитываются по известным формулам механики процесса резания [5—7].

При расчёте температур на передней и задней поверхностях, учитываем и доли тепла в зоне деформации, часть которой уходит со стружкой $Q_{\phi c} = в^* \cdot Q_\phi$, а другая часть попадает в инструмент

$$Q_{\phi и} = \left(1 - в^*\right) \cdot Q_\phi,$$

где $в^*$ — коэффициент распределения тепловых потоков.

В наших расчётах использовалась известная зависимость А. Н. Резникова [2], и наша оценка $T_{пп}$ и $T_{зп}$ показала заниженные значения коэффициента $в^*(0,49)$ и повышенный уровень $\left(1 - в^*\right)(0,51)$.

Исходные посылки для оценки $в^*$ нами не рассматривались, а априори принималась формула А. Н. Резникова. Проследим ход его рассуждений. Принимая зону деформации за плоский источник, Резников А. Н. находит среднюю температуру в этом источнике [2, с. 265]:

$$T_{ср} = \frac{4}{3} \cdot q_\phi \cdot \frac{\sqrt{a_2 \cdot l}}{\lambda_2 \cdot \sqrt{п \cdot V}} = \frac{4}{3} \cdot q_\phi \cdot \frac{\sqrt{a_2 \cdot a / \sin\phi}}{\lambda_2 \cdot \sqrt{п \cdot V}}, \qquad (5)$$

где $P_e = \frac{V \cdot l}{a_2}$ — параметр Пекле.

Автор [2] приравнивает температуры от деформации в плоскости ОА (рис.1) к температуре в стружке, с учётом коэффициентов распределения тепловых потоков $в^*$ и $\left(1 - в^*\right)$ и получает:

$$T_{стр} = \frac{в^* \cdot q_\phi \cdot a_2}{\lambda_2 \cdot V_c} = \frac{в^* \cdot q_\phi \cdot a_2 \cdot k_a}{\lambda_2 \cdot V} \qquad (6)$$

$$T_\phi = \left(1 - в^*\right) \frac{4}{3} \cdot q_\phi \cdot \frac{\sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\lambda_2 \cdot \sqrt{п \cdot V} \cdot \sqrt{\sin\phi}}$$

$$T_{стр} = T_\Phi$$

$$\frac{в^* \cdot q_\phi \cdot a_2 \cdot k_a}{\lambda_2 \cdot V} = \left(1 - в^*\right) \frac{4}{3} \cdot q_\phi \cdot \frac{\sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\lambda_2 \cdot \sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}} \qquad (7)$$

Решив равенство (7) относительно $в^*$, получили:

$$\frac{в^* \cdot q_\phi \cdot a_2 \cdot k_a}{\lambda_2 \cdot V} = 1,33 \cdot \left(1 - в^*\right) \cdot q_\phi \cdot \frac{\sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\lambda_2 \cdot \sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}};$$

$$\frac{в^* \cdot a_2 \cdot k_a}{V} = \frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}} - в^* \cdot \frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}};$$

$$в^* \cdot \left(\frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}} + \frac{a_2 \cdot k_a}{V} \right) = \frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}};$$

$$в^* \cdot \left(\frac{V \cdot 1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi} + \sqrt{п \cdot V} \cdot a_2 \cdot k_a \cdot \sqrt{\sin\phi}}{V \cdot \sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}} \right) = \frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{\sqrt{п \cdot V}\sqrt{\sin\phi}};$$

$$в^* = \frac{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi} + \sqrt{п} \cdot a_2 \cdot k_a \cdot \left(\sqrt{V}\ / V\right) \cdot \sqrt{\sin\phi}};$$

$$в^* = \frac{1}{1 + \dfrac{\sqrt{п} \cdot a_2 \cdot k_a \cdot \left(\sqrt{V}\ / V\right) \cdot \sqrt{\sin\phi}}{1,33 \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}}$$

Или тогда коэффициент распределения теплового потока:

$$в^* = \frac{1}{1 + 1,33 \cdot \dfrac{\sqrt{V} \cdot a_2 \cdot k_a \cdot \sqrt{\sin\phi}}{V \cdot \sqrt{a_2 \cdot S \cdot \sin\varphi}}}, \qquad (8)$$

где a_2 — коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, φ — главный угол в плане, S — подача.

В отличие от формулы А. Н. Резникова зависимость (8) содержит, кроме скорости резания, величину подачи S и главный угол в плане резца φ.

Пример. Определим коэффициент распределения тепла деформации $в^*$ при точении резцом из ВК8 жаропрочной стали 12Х18Н10Т: $t = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, $S = 0,14 \cdot 10^{-3}$ м/об, $\gamma = 0°$, $\varphi = 45°$, $a_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, $\lambda_2 = 22,6 \cdot 10^6$ Вт/м·град, $C_2\rho_2 = 4,51 \cdot 10^6$ Дж/ м^3·град. Скорости резания — $V = 0,68$; 1,07 и 2,14 м/с; коэффициенты укорочения стружки соответственно скоростям — k_a = 1,85; 1,53 и 1,55.

Угол сдвига определяется по зависимости [6]:

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{\cos\gamma}{k_a - \sin\gamma}$$

Для V = 0,68 м/с имеем:

$$в^* = \frac{1}{1 + 1,33 \cdot \dfrac{\sqrt{V} \cdot a_2 \cdot k_a \cdot \sqrt{\sin\phi}}{V \cdot \sqrt{a_2 \cdot s \cdot \sin\varphi}}} = \frac{1}{1 + 1,33 \cdot \dfrac{\sqrt{0,68} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,85 \cdot \sqrt{0,54}}{0,68 \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 0,71}}} = 0,68$$

В таблице 1 приведены значения $в^*$ и для других скоростей резания; кроме величин $в^*$ приводятся также температуры по передней поверхности, распределённые по формулам для оценки температур трения, полученные интегральным методом [9].

Таблица 1

Расчётные значения параметра $в^*$ и температуры на передней поверхности при обработке стали 12Х18Н10Т сплавом ВК8 ($t = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м; $S = 0,14 \cdot 10^{-3}$ м/об)

Пара	Параметры		Температура $T_{пп}$, °С		
	V, м/с	$в^*$	от деформации	от трения	$\sum T$
ВК8-12Х18Н10Т	0,68	0,68	199	275	474
	1,07	0,74	318	358	676
	2,14	0,83	326	540	866

Как видно из таблицы 1, с увеличением скорости резания доля тепла, поступающего из зоны деформации в стружку, возрастает и для наших условий резания превышает 0,8, что соответствует физике процесса резания. По порядку величины значения $в^*$ соответствуют данным А. Н. Резникова [2, с. 98], полученным для аналогичных условий резания; в работе [8] величину

этого коэффициента рекомендуется принимать равной 0,9 для скорости *V* = 100 м/мин и 0,95 для *V* = 300 м/мин.

Выводы.

1. Полученные расчётные значения коэффициентов распределения тепла деформации по уточнённой формуле позволяют эффективно использовать их для нахождения температур на контактных площадках инструмента и в зоне резания.

2. Расчётные значения полученных коэффициентов находятся в пределах известных из литературных данных.

Библиографический список

1 Чичинадзе, А. В. Расчёт, испытание и подбор фрикционных пар / А. В. Чичинадзе, А. Г. Гинзбург. — Москва: Наука, 1979. — 267 с.

2. Резников, А. Н. Теплофизика резания / А. Н. Резников. — Москва: Машиностроение, 1968. — 288 с.

3. Белоусов, А. И. Тепловые явления и обрабатываемость резанием авиационных материалов / А. И. Белоусов, П. И. Бобрик, Рахман-Заде-Аз и др. — Москва: Машинстроение, 1966. — 179 с.

4. Рыжкин, А. А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов: учеб. Пособие / А. А. Рыжкин. — Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2005. — 311 с.

5. Зорев, Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Н. Н. Зорев. — Москва: Машгиз, 1956. — 368 с.

6. Обработка материалов лезвийным инструментом, т. 5. Под ред. С. А. Клименко. — Киев: ИСМ им. Бакуля В. Н., ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2006. — 316 с.

7. Розенберг, А. М. Элементы теории процесса резания металлов / А. М. Розенберг, А. Н. Ерёмин. — Москва-Свердловск: Машгиз, 1956. — 319 с.

8. Пучкин, В. Н. Влияние температуры при обработке труднообрабатываемых сталей режущей керамикой / В. Н. Пучкин, В. Г. Солоненко, Л. А. Солоненко, Т. В. Кононенко // СТИН. — 2010. — № 5. — С. 24—27.

9. Рыжкин, А. А. Обработка материалов резанием / А. А. Рыжкин. — Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1995. — 256 с.

Материал поступил в редакцию 08.09.2012.

References

1 Chichinadze, A. V. Raschyot, ispy`tanie i podbor frikcionny`x par / A. V. Chichinadze, A. G. Ginzburg. — Moskva: Nauka, 1979. — 267 s. — In Russian.

2. Reznikov, A. N. Teplofizika rezaniya / A. N. Reznikov. — Moskva: Mashinostroenie, 1968. — 288 s. — In Russian.

3. Belousov, A. I. Teplovy`e yavleniya i obrabaty`vaemost` rezaniem aviacionny`x materialov / A. I. Belousov, P. I. Bobrik, Raxman-Zade-Az i dr. — Moskva: Mashinstroenie, 1966. — 179 s. — In Russian.

4. Ry`zhkin, A. A. Teplofizicheskie processy` pri iznashivanii instrumental`ny`x rezhushhix materialov: ucheb. Posobie / A. A. Ry`zhkin. — Rostov-na-Donu: Izdatel`skij centr DGTU, 2005. — 311 s. — In Russian.

5. Zorev, N. N. Voprosy` mexaniki processa rezaniya metallov / N. N. Zorev. — Moskva: Mashgiz, 1956. — 368 s. — In Russian.

6. Obrabotka materialov lezvijny`m instrumentom, t. 5. Pod red. S. A. Klimenko. — Kiev: ISM im. Bakulya V. N., IPCz ALKON NANU, 2006. — 316 s. — In Russian.

7. Rozenberg, A. M. E`lementy` teorii processa rezaniya metallov / A. M. Rozenberg, A. N. Eryomin. — Moskva-Sverdlovsk: Mashgiz, 1956. — 319 s. — In Russian.

8. Puchkin, V. N. Vliyanie temperatury` pri obrabotke trudnoobrabaty`vaemy`x stalej rezhushhej keramikoj / V. N. Puchkin, V. G. Solonenko, L. A. Solonenko, T. V. Kononenko // STIN. — 2010. — № 5. — S. 24—27. — In Russian.

9. Ry`zhkin, A. A. Obrabotka materialov rezaniem / A. A. Ry`zhkin. — Rostov-na-Donu: Izdatel`skij centr DGTU, 1995. — 256 s. — In Russian.

ON HEAT-SHARING RATIO IN DEFORMATION ZONE UNDER CUTTING

F. A. Vistoropskaya, A. A. Ryzhkin, S. A. Moiseyenko
(Don State Technical University)

The specified formula for determining the heat ratio due to the deformation in the shear plane entering chippings is got. The obtained results of the heat-sharing ratio calculation for the case of machining 12X18H10T heat-resistant steel by BK8 alloy are in satisfactory agreements with the literature data.
Keywords: *heat flux, shear stresses, heat-sharing ratio.*

УДК 631.362.001.573

Вероятностная модель процесса продольной ориентации стеблей соломы зерновых культур

Ю. И. Ермольев, А. В. Бутовченко
(Донской государственный технический университет),
С. В. Белов, Р. Е. Фоменко
(ООО «Донская гофротара»)

Приведён общий подход построения стохастической математической модели процесса продольной ориентации длинных соломистых фракций на специальном ориентирующем устройстве.
Ключевые слова: *стохастическая модель, сепаратор-ориентатор, соломистые фракции, показатели процесса.*

Введение. Структурный синтез рациональных совокупностей частных технологических операций, способных выполнять ориентацию стеблей зерновых культур для последовательного их изменения с заданными параметрами, предопределяет необходимость оценки основных технологических показателей функционирования ориентирующего устройства стеблей зерновых культур (ОУСЗК). В связи с этим возникла необходимость параметрического и структурного синтеза ОУСЗК при ориентации стеблей зерновых культур с различными размерами стеблей.

Построение модели. Рассмотрим в общем виде стохастическую модель процесса продольной ориентации стеблей на ОУСЗК. Принципиальная схема устройства для ориентации стеблей зерновых культур представлена на рис. 1.

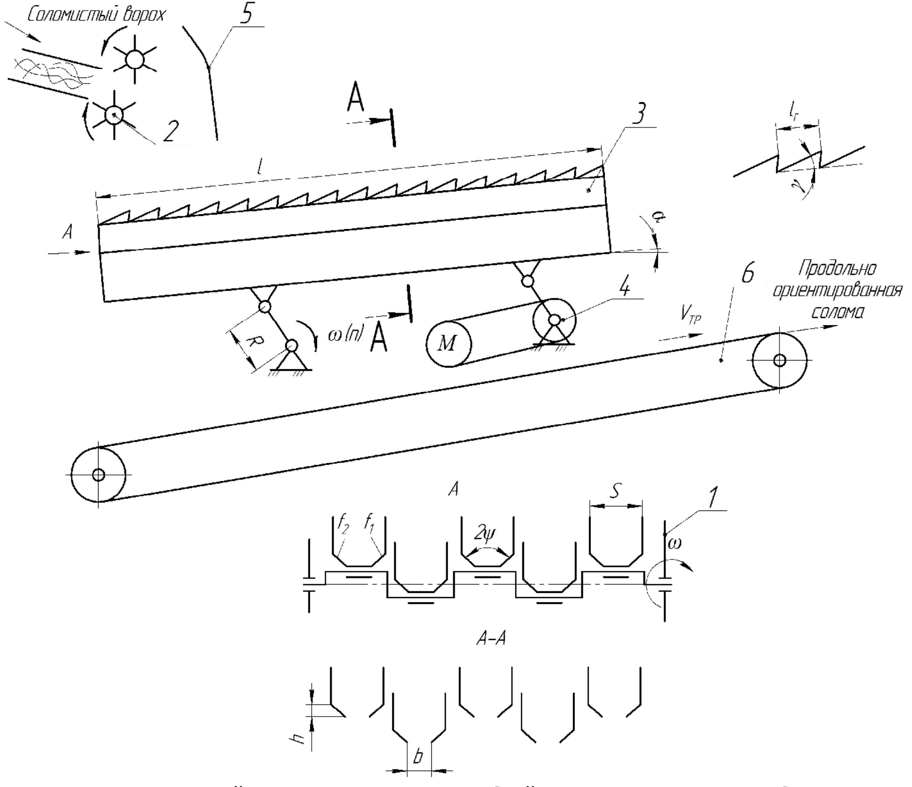


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для ориентации стеблей зерновых культур: 1 — боковины устройства; 2 — устройство для разрушения тюков соломистого вороха; 3 — клавишный сепаратор-ориентатор; 4 — привод клавиш сепараторов-ориентаторов; 5 — направляющий щиток; 6 — транспортёр ориентированной соломы

Основными геометрическими параметрами ОУСЗК являются его длина *l* и ширина *B*, угол α наклона его к горизонту, частота *n* оборотов кривошипа радиуса *R* ; шаг *S* установки гребёнок, их конструкция (l_r, γ), высота *h* и угол 2ψ установки стенок желобков, ширина *b* выходных щелей между гранями гофров; скорость V_{TP} ленты транспортёра.

ОУСЗК можно представить в виде двух расположенных друг над другом и неоднородных «условных» решёт равной длины *l*, каждое из которых обладает отличным от другого, но постоянным для отдельного решета коэффициентом сепарации μ_j .

Верхнее условное решето представляет собой слой соломистого вороха на сепараторе и линейчатую поверхность сепаратора с шагом *S* , нижнее условное решето образовано желобками гофров с выходными щелями шириной *b*. Для первого верхнего решета

$$\mu_{1j} = f\left(Q, a_j, \gamma_1, W, f\left(l_j\right), f\left(b_{шj}\right), f_{bj}, \rho, S, \alpha, \beta, n_n, R, V_{1j}\right), \quad (1)$$

для второго решета

$$\mu_{2j} = f_1\left(a_j, \gamma_2, f\left(b_{шj}\right), \beta, \alpha, V_{TP}, n, R, V_{2j}\right), \quad (2)$$

где *Q* — подача стеблей зерновых культур (СЗК) на ОУСЗК; *W* — влажность СГС; $f(l_j)$, $f(b_{шj})$ — плотности вероятностей распределения длины l_j и ширины $b_{шj}$ *j*-х компонентов СЗК; γ_1 и γ_2 — вероятностная доля a_j — компонентов, способных пройти в щель ОУСЗК *S* и *b*; f_{bj} — коэффициент внутреннего трения *j*-го компонента; ρ — плотность массы СЗК; *n* и *R* — частота и радиус кривошипа, обеспечивающие подброс компонентов СЗК относительно рабочей поверхности ОУСЗК; V_{TP} — относительная скорость перемещения компонентов СЗК по сепаратору-ориентатору ОУСЗК. Ограничением прохода *j*-х компонентов СЗК через условное первое и второе решёта ОУСЗК являются соответствующие условия

$$b_{шj} < S, \qquad b_{шj} < b; \quad (3)$$

V_{1j} и V_{2j} — средние скорости относительного перемещения *j*-х компонентов по условному первому (рабочая поверхность ОУСЗК) и второму (желобки между стенками гофров) решётам.

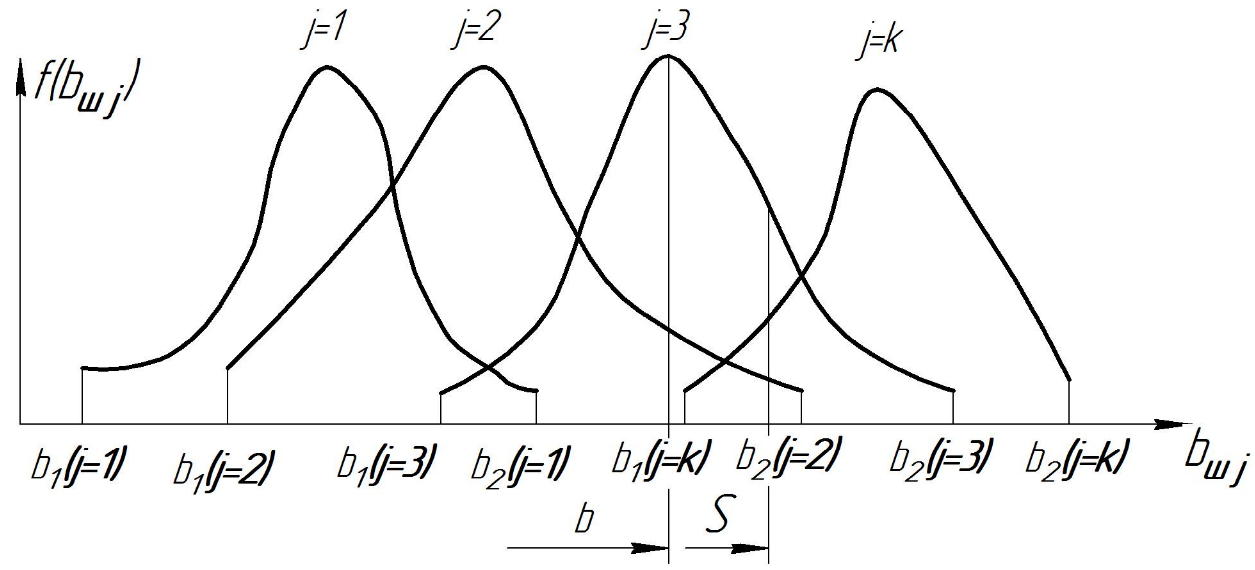


Рис. 2. Плотность вероятности распределения по ширине ($b_{шj}$) *j*-х компонентов СЗК

При условии содержания k компонентов ($j = 1, 2, ..., k$) в исходных СЗК с известными плотностями вероятности $f\left(b_{шj}\right)$ распределения по ширине (рис. 2) и задаваемой шириной S и b (см. рис. 2) размеров щелей условных первого и второго решёт вероятностная доля γ_1 j-х компонентов, способных пройти щель шириной S, например, для условия $j = 3$, $S < b_{2(j=3)}$, будет составлять

$$\gamma_{1(j=3)} = \frac{\int\limits_{b_{1(j=3)}}^{S} f\left(b_{шj}\right)db}{\int\limits_{b_{1(j=3)}}^{b_{2(j=3)}} f\left(b_{шj}\right)db}, \qquad (4)$$

при $b_{2(j=3)} < S \rightarrow \gamma_{1(j=3)} = 1$.

Тогда часть j-х компонентов СЗК, идущих в сход с 1-го условного решета Q_{1cxj}

$$Q_{1cxj} = Q \cdot a_j \left(1 - \gamma_1\right). \qquad (5)$$

По аналогии, например, для условия

$$\gamma_2 = \int\limits_{b_{2(j=2)}}^{b} f\left(b_{шj}\right)db \Bigg/ \int\limits_{b_{1(j=2)}}^{b_{2(j=2)}} f\left(b_{шj}\right)db , \qquad (6)$$

тогда часть j-х компонентов СЗК, прошедших щель шириной S первого условного решета, сойдёт в сход Q_{2jc} со 2-го условного решета

$$Q_{2jc} = Q_{aj}\gamma_1\left(1 - \gamma_2\right), \qquad (7)$$

Для этих условий полнота просеивания ε_{1j} j-го компонента СЗК на ОУСЗК длиной l будет [1]

$$\varepsilon_j = 1 - \left(\mu_{2j} \cdot \exp\left(-\mu_{1jl}\right) - \mu_{1jl} \cdot \exp\left(-\mu_{2jl}\right)\right) \Big/ \left(\mu_{2j} - \mu_{1j}\right), \qquad (8)$$

а просеивание с продольной ориентацией j-го компонента в единицу времени на ОУСЗК длиной l определяется из выражения

$$Y_{nj} = Q \cdot a_j \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \varepsilon_j, \qquad (9)$$

Для аналитического описания коэффициентов сепарации μ_{1j} и μ_{2j} введём допущения [2]:

1) j-е компоненты распределены равномерно в слое СЗК;

2) j-е компоненты СЗК, способные «пройти» первую и вторую щель (S и b) условных решёт, имеют прямолинейную цилиндрическую форму тела длиной l_j, равной длине этого компонента, и шириной $b_{шj}$;

3) плотности вероятностных случайных величин l_j и $l_{шj}$ подчиняются нормальному закону;

4) центр масс j-х компонентов совпадает с их геометрическим центром;

5) проход j-го компонента через соответствующие щели условных решёт определяется нахождением его центра масс в плоскости щели и положением в пространстве, обеспечивающим проход в отверстие без касания его кромок половиной длины l_j j-го компонента.

Тогда [2]:

$$\mu_{1j} = P_{1j} \Big/ \left(V_{1j} \cdot t_{цj}\right), \qquad (10)$$

где P_{1j} — вероятность прохода j-го компонента вороха соответственно через слой СЗК на рабочей поверхности сепаратора ОУСЗК и через его условное линейчатое решето с шагом S; $t_{цj}$ — среднее время одного цикла перемещения j-го компонента на первом условном решете; V_{1j} — средняя относительная скорость перемещения j-го компонента на первом условном решете.

Вероятность P_{1j} представим в виде комбинации двух несовместных событий

$$P_{1j} = P_{c1j}\left(1 - P_{2j}\right) \quad \text{для} \quad S > b_{шj}, \tag{11}$$

где P_{2j} — вероятность непрохода j-го компонента соломистого вороха через линейчатое решето с шагом линий S (вероятность пересечения компонентом при опускании на сепаратор двух и более линий) за один цикл его перемещения по линейчатому решету; P_{c1j} — вероятность прохода j-го компонента через слой соломистого вороха.

$$\mu_{2j} = P_{2/1j} \Big/ \left(V_{2j} \cdot t_{цj}\right), \tag{12}$$

где $P_{2/1j}$ — вероятность прохода j-го компонента через второе условное решето в сепараторе ОУСЗК; V_{2j} — средняя скорость относительного перемещения j-х компонентов на втором условном решете сепаратора-ориентатора; $t_{цj}$ — время одного цикла перемещения j-го компонента по второму условному решету.

Вероятность $P_{2/1j}$ представим в виде комбинации несовместных событий

$$P_{2/1j} = P_{3/1j} + \left(1 - P_{3/1j}\right) \cdot P_{4/3j}, \tag{13}$$

где $P_{3/1j}$ — вероятность j-му компоненту, попавшему в желобки с шагом S линейчатой решётки, пройти щели шириной b на дне желобков; $P_{4/3j}$ — вероятность того, что j-й компонент, не попавший центром масс в щели желобков и опустившийся на боковые поверхности желобков, ориентируется в пространстве относительно щелей шириной b за счёт воздействия на j-й компонент реакций боковых поверхностей гофров.

Доказано [3], что для определения вероятности $P_{4/3j}$ процесс ориентации соломин вороха можно представить в виде комбинации двух несовместных действий: вероятности ориентации j-го компонента в плоскости, параллельной поверхности решета, и вероятности его ориентации в плоскости, перпендикулярной продольной оси желобка. Тогда вероятность полного процесса $P_{4/3j}$, подразделённого на частные случаи, определяется по теореме сложения вероятностей.

Для различных соотношений l_j (в дальнейшем l) и S в первом приближении вероятность $P_{4/3j}$ определяется из выражений [3]:

Для выражения (13) $S > l_j < CB\left(\Theta_{kp}\right)$

$$P_{4/3j} = \left(1 - l_j/2S\right)\left(1 - \alpha_{kpj}/90^\circ\right) + l_j/2S \;\left[1 + \left(1 - \alpha_{kpj}/90^\circ\right)\left(1 - \Theta_{kpj}\Big/\left(90^\circ - \operatorname{arctg}\left(\partial f/\partial z\right)\right)\right)\right]$$

Для $S \ge l_j < CB\left(\Theta_{kp}\right)$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{l_j}{2S}\right)\left(1 - \frac{\alpha_{kpj}}{90^\circ}\right) + \frac{l_j}{2S}\left[1 - \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}} + \left(1 - \alpha_{kpj}/90^\circ\right)\left(1 - \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}}\right)\right] \tag{15}$$

Для $S < l_j \le S/\cos\alpha_{кpj}$, при $l_j < 2CB/\cos\alpha_{кpj} \le S/\cos\alpha_{кpj}$

$$P_{4/3j} = \left[1 - \frac{\alpha_{кpj}\Theta_{1kpj}}{90^\circ\left(90^\circ - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}\right)}\right]P_{3j} + \left(1 - P_{3j}\right)\left[1 - \left(\frac{\alpha_{кpj} - \alpha}{90^\circ - \alpha}\right) \cdot \frac{\Theta_{kpj}}{90^\circ - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}}\right], \tag{16}$$

Для $S < l_j < S/\cos\alpha_{крj}$, при $l_j < 2CB/\cos\alpha_{крj} \le S/\cos\alpha_{крj}$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{\alpha_{крj}}{90°}\right)P_{3j} + \left(1 - P_{3j}\right)\left[1 - \left(\frac{\alpha_{крj} - \alpha}{90° - \alpha}\right) \cdot \frac{\Theta_{крj}}{90° - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}}\right], \tag{17}$$

Для $S < l_j < S/\cos\alpha_{крj}$, при $l_j < 2CB/\cos\alpha_{крj} \le S/\cos\alpha_{крj}$

$$P_{4/3j} = \left[1 - \frac{\alpha_{крj}\Theta_{1крj}}{90°\left(90° - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}\right)}\right] + \left(1 - P_{3j}\right)\left[1 - \left(\frac{\alpha_{крj} - \alpha}{90° - \alpha}\right) \cdot \frac{\Theta_{крj}}{90° - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}}\right] \tag{18}$$

Для $S/\cos\alpha_{крj} < l_j < 2S/\cos\alpha_{крj}$, при $S/\cos\alpha_{крj} < 2CB/\cos\alpha_{крj} < l_j$

$$P_{4/3j} = \left(1 - \frac{\alpha_{крj}}{90°}\right)P_{3j} + \left(1 - P_{3j}\right), \tag{19}$$

Для $S/\cos\alpha_{крj} < l_j \le 2S/\cos\alpha_{крj}$, при $S/\cos\alpha_{крj} < 2CB/\cos\alpha_{крj} < l_j$

$$P_{4/3j} = P_{3j}\left[1 - \frac{\alpha_{крj}}{90°} \cdot \left(\frac{\Theta_{1крj}}{90° - \operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}}\right)\right] + \left(1 - P_{3j}\right) \tag{20}$$

P_{3j} — вероятность j-го компонента, попавшего в желобок, достичь его стенок (f_1 или f_2; рис. 3).

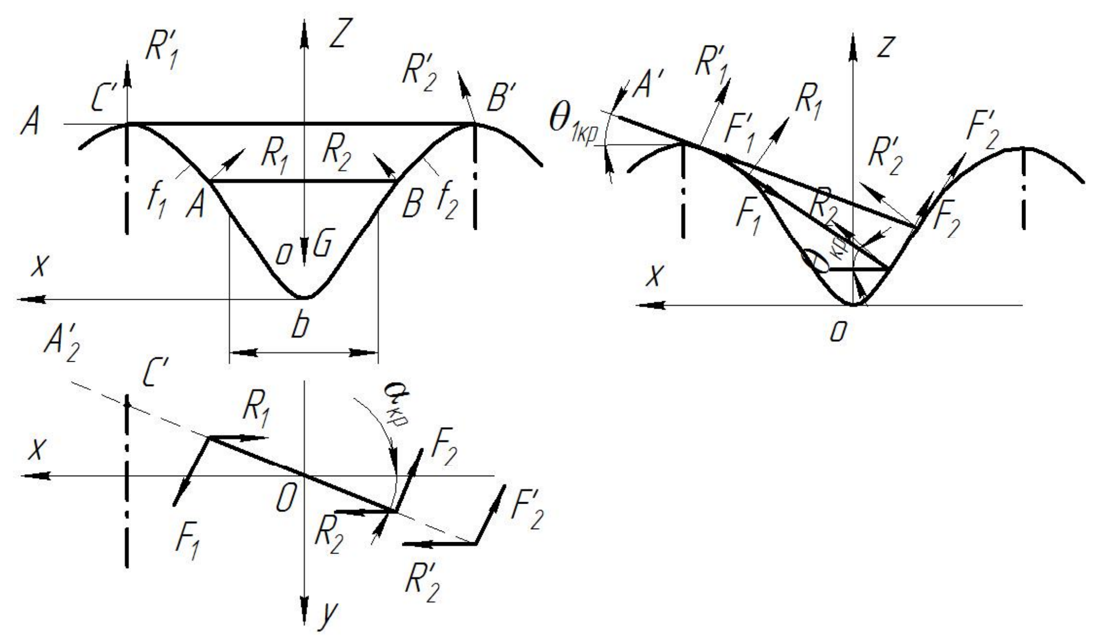


Рис. 3. Схема ориентации отрезков различной длины в желобках гофрированного решета

Для $l_j < 2S/\cos\alpha_{крj}$, $P_{4/3j} = 1$, где $\alpha = \arccos\dfrac{s}{l}$, при $\alpha < 0°$ принимается $\alpha = 0°$; $\operatorname{arctg}\dfrac{\partial f}{\partial z}$ — угол наклона касательной стенки желобка к оси Z (рис. 3) в точке $x = d/2$; $z_0 \to f_1 = f_1(y_0; z_0)$; $Q_{крj} = \Theta_{1крj}$ в зависимости от формы гофры; $\alpha_{крj}$ — критический угол, определяющий положение j-го компонента в плоскости, параллельной поверхности решета, при котором он под действием силы веса и реакции со стороны стенок желобка начинает разворачиваться и ориентироваться к отверстию (рис. 3), определяется с учётом его положительного значения из выражения [3].

$$\alpha_{\kappa pj} \geq \arcsin\sqrt{-\frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}{2}+\sqrt{\frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^4}{4}+\frac{\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}{\left(\frac{1}{\Delta f_a}\cdot\frac{\partial f_a}{\partial x}\right)}f_j^2}}\ , \qquad (21)$$

где f_j — коэффициент трения j-го компонента о стенки желобка; f_a — уравнение поверхности стенки желобка в плоскости XOZ; $\Delta f_a = \left|\text{grad} f_a\right| = \sqrt{\left(\frac{\partial f_a}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f_a}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial f_a}{\partial z}\right)^2}$ — модуль градиента связи в точке контакта j-го компонента со связью (стенкой желобка).

Координаты точек контакта концов j-х компонентов со связями (см. рис. 3) $x = \frac{l}{2}\cos\alpha$, z определяется из уравнения связи $f_a = f(x,z)$, подставим в них значения x.

$Q_{\kappa pj}$ — критический угол начала самоориентации j-х компонентов в плоскости, перпендикулярной продольной оси желобка, при $S > l$ (см. рис. 3)

$$Q_{\kappa pj} \geq \text{arctg}\left\{\frac{\frac{G_j}{2}-\lambda_{1j}\Delta f_1\left[f\cos\left(\text{arctg}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)\mp\sin\left(\text{arctg}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)\right]}{\lambda_{tj}\Delta f_1\left[\cos\left(\text{arctg}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)\pm f_j\sin\left(\text{arctg}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)\right]}\right\} \qquad (22)$$

где G_j — сила веса j-го компонента,

$$\lambda_{1j} = \frac{G_j\left(\frac{\partial f_2}{\partial x}-\frac{\partial f_2}{\partial x}f_j\right)}{\left(\frac{\partial f_1}{\partial z}\mp\frac{\partial f_1}{\partial x}f_j\right)\left(\frac{\partial f_2}{\partial x}-\frac{\partial f_2}{\partial z}f_j\right)+\left(\frac{\partial f_1}{\partial x}\mp\frac{\partial f_1}{\partial z}f_j\right)\left(\frac{\partial f_2}{\partial z}\mp\frac{\partial f_2}{\partial x}f_j\right)} \text{ —}$$

множитель связи или неопределённый множитель Лагранжа. Верхний ряд знаков для $Q_{\text{кpj}} \geq \arccos\left(\frac{1}{\Delta f_2}\frac{\partial f_2}{\partial x}\right)$, в противном случае — нижний ряд знаков.

Координаты точек контакта концов j-х компонентов со связями можно найти из выражений

$$\left|x_1\right|+\left|x_2\right| = l\cos\Theta\ ,\ z_2 - z_1 = l\sin\Theta\ ,\ f_1 = f_1\left(x_1, z_1\right),\ f_2 = f_2\left(x_2, z_2\right), \qquad (23)$$

Для случаев $l > S$, когда уравнения связей f_1 и f_2 для следующего желобка представляют собой одну кривую, величиной критического угла

$$\Theta_{1\kappa pj} \leq \arccos\left(\frac{2\lambda_1\Delta f_1 CB}{G_j l_j}\right) \qquad (24)$$

Координаты точек контакта концов j-х компонентов со связями и величина CB определяются из выражений:

$$z_2 - z_1 = \left(x_1 - x_2\right)\text{tg}\Theta_1,\ f_1\left(x_1, z_1\right) = 0,\ f_2\left(x_2, z_2\right) = 0 \qquad (25)$$

$$\frac{f_{1x}'\big|_{x=x_1}}{f_{1z}'\big|_{z=z_1}} = \text{tg}\Theta_1 \qquad CB = \left(x_1 - x_2\right)/\cos\Theta_1$$

Если кривые уравнения f_1 и f_2 в точке $x = S/2$ пересекаются (см. рис. 3), то

$$Q_{1kpj} \leq \arccos\left(2R_{1j}CB\right)/\left(G_j l_j\right) \qquad (26)$$

где

$$R_{1j} = \frac{G_j \left(\frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{f}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} \right)}{\left(\pm f_j \cos\Theta_1 + \sin\Theta_1 \right) \left[\frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} + \frac{1}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} \right] + \left[\frac{1}{\partial f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial x} - \frac{f}{\Delta f_2} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial z} \right] \left(\cos\Theta_1 m f_j \sin\Theta_1 \right)}$$

Координаты точек контакта концов *j*-х компонентов со связями для этого случая получим из первых трёх уравнений системы (25).

Выражение (26) справедливо для $Q_{1kpj} \leq 90^\circ - \arccos\left(\left(1 / \Delta f_1 \right) \left(\partial f_1 / \partial x \right) \right)$, в противном случае применяется выражение (24).

Если величина критических углов Q_{kpj} или $Q_{1_{kpj}}$ больше возможных углов *j*-х компонентов в этой плоскости

$$90^\circ - \mathrm{arctg}\, df_a / dz ,$$

то отношение их в выражениях вероятности

$$Q_{kpj} / \left(90^\circ - \mathrm{arctg}\, df / dz \right) = 1 ,$$

Здесь $P_{3/1j}$ определяется из условия прохода *j*-х компонентов, прошедших пальцевую решётку с шагом пальцев *S*, через щель шириной *b* (вероятность прохода этих *j*-х компонентов щели шириной *b* без касания её рёбер).

Рассматривая процесс опускания отрезка длиной l_j на рабочую поверхность сепаратора, линейчатое решето с шагом *S*, примем допущение: при опускании отрезка на линейчатую решётку его центр масс перемещается в плоскости перпендикулярно поверхности линейчатой решётки и параллельно её линиям (рис. 4), занимая различные равновероятностные положения в надрешётном пространстве, определяемые углами Θ и φ.

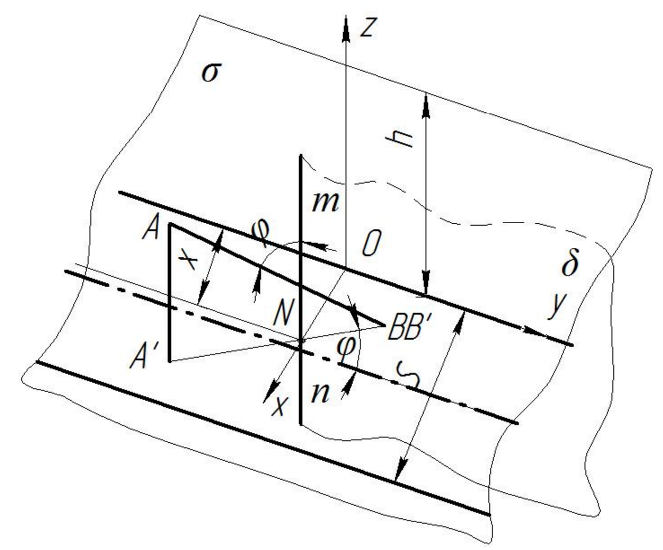


Рис. 4. Схема возможного положения отрезка *AB* в момент касания концом *B* плоскости линейчатой решётки

Для этих условий независимые друг от друга случайные величины *x*, Θ и φ с равной вероятностью могут принимать значения [3]:

$$0 \leq x \leq S; \quad 0 \leq \Theta \leq \pi / 2; \quad -\pi \leq \varphi \leq \pi \qquad (27)$$

При этих значениях переменных отрезок длиной l_j может занимать положение в пространстве, обеспечивающее проход l_j без касания линий решета с шагом *S* (проход линейного решета без касания линий линейчатой решётки и проход с пересечением одной линии); непроход отрезка l_j линейчатой решётки при условии пересечения им (опускаясь центром масс в плоскости σ; см.

рис. 4) двух и более линий. Определено [3] общее и частное выражения вероятности одного из рассматриваемых событий

$$P = \frac{1}{4\pi S}\int_{x_1}^{x_2}\int_{\Theta_1}^{\Theta_2}\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\sin\Theta dx d\Theta d\varphi \quad (28)$$

При использовании выражения (28) найдена вероятность P_{2j} пересечения отрезка длиной l_j двух линий линейчатой решётки (для выражения (11)).

Для $S \le l_j \le 2S$

$$P_{2j} = \frac{2}{S}\int_{s/2}^{l/2}\left(1 - 2x / l_j\right)dx = l_j / 2x + S / 2l_j - 1 \quad (29)$$

Для $2S < l_j < \infty$

$$P_{2j} = \frac{2}{S}\int_{s/2}^{S}\left(1 - 2x / l\right)dx = 1 - 3S/2l_j \quad (30)$$

Величина вероятности $P_{3/1j}$ (для выражения (13)) определится из выражения (31) в виде комбинации несовместных событий

$$P_{3/1j} = P_{1j}\left[P_{1j(1)}(b) + \left(1 - P_{1j(1)}(b)\right)P_{1j(2)}(b)\right], \quad (31)$$

где P_{1j} определяется из выражения (11), $P_{1j}(b)$ — вероятность прохода щели шириной b без касания $P_{1j(1)}(b)$ или с касанием $P_{1j(2)}(b)$ граней гофры на дне желобка j-х компонентов, прошедших пальцевое решето с шагом S.

Для $0 < l_j \le b$ вероятность $P_{1j}(b)$ пройти в щель шириной b без касания её граней

$$P_{1j(1)}(b) = 1 - l_j/2b; \quad (32)$$

с касанием одной грани

$$P_{1j(2)}(b) = 1 / 2b. \quad (33)$$

Для $b < l_j \le \infty$,

$$P_{1j(1)}(b) = b/2l_j. \quad (34)$$

Для $b < l_j \le 2b$,

$$P_{1j(2)}(b) = b/l_j - l_j/2b. \quad (35)$$

Для $2b < l_j \le \infty$,

$$P_{1j(2)}(b) = b/l_j. \quad (36)$$

Для определения средней скорости V_{1j} и времени $t_{цj}$ одного цикла при перемещении j-х компонентов по поверхности клавиши ОУСЗК рассмотрим основные закономерности их перемещения при заданной закономерности движения сепаратора (см. рис. 1).

При этом примем допущения: ширина и кинематика каждой соседней клавиши с шагом S не влияют на закономерности перемещения соломистого вороха по рассматриваемой клавише (они способствуют опусканию соломин на клавишу с равновероятностным положением в пространстве); сопротивление воздушного потока в направлении перемещения соломистого вороха вдоль клавиш не учитывалось из-за малых величин этих скоростей; перемещение слоя соломистого вороха рассматривалось как перемещение материальной точки с массой m; при движении слоя соломистого вороха в направлении к поверхности клавиш — пропорционально первой степени

проекции скорости на ось *Y*. При анализе закономерностей перемещения соломистого вороха по клавише используем известную методологию [4].

Для относительного перемещения соломистого вороха по клавише сепаратора, совершающего движение по окружности с радиусом *R* (рис. 5), величина минимальной угловой скорости кривошипа (рис. 6)

$$\omega = \left(a \cdot f\right)/2 + \sqrt{\left(a \cdot f\ /2\right)^2 - g\ /R\left(\sin\alpha - f\cos\alpha\right)} \qquad (37)$$

где $a = k/m$, k — коэффициент пропорциональности; f — коэффициент трения соломы по поверхности клавиш.

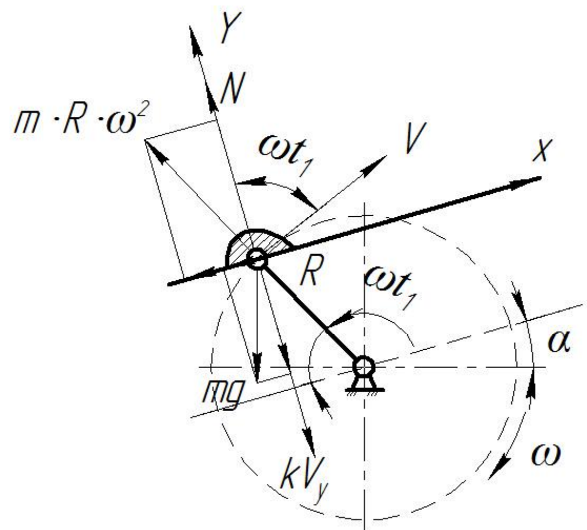


Рис. 5. Схема сил, действующих на соломистый ворох в момент отрыва его от клавиши

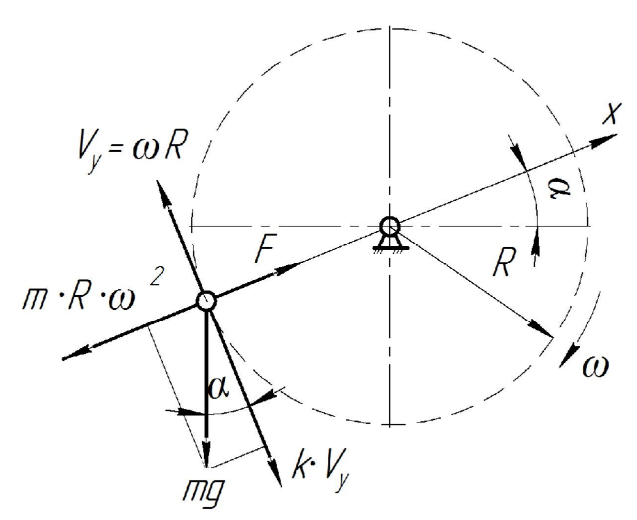


Рис. 6. Схема для определения минимальной угловой скорости кривошипа клавишного сепаратора-ориентатора

Начало отрыва соломы от клавиши определяется углом ωt_1 (рис. 5). Условия отрыва

$$\omega t_1 = \arcsin\left(g\ /\left(R \cdot \omega^2\right)\cos\alpha \cdot \cos\gamma\right) + \gamma \qquad (38)$$

где $\gamma = \operatorname{arctg} n\ /\ \omega$, n — частота оборотов кривошипа привода клавиш, ω — угловая скорость приводного вала с кривошипом *R*.

Рассмотрим свободный полёт соломин после отрыва от клавиш (рис. 7). Оси координат *X* и *Y* совместимы с точкой *O* начала отрыва соломы от клавиши, тогда на стадии подъёма траектории относительного движения соломин

$$\left.\begin{aligned} x &= \omega \cdot R \cdot t \sin \omega t_1 - \left[\left(gt^2\right)/2\right] \sin \alpha \\ y &= \left(B / a^2\right)\left(1 - e^{-at}\right) - \left(g / a\right) t \cos \alpha \end{aligned}\right\} \quad (39)$$

где $B = a\omega \cdot R \cdot \cos \omega t_1 + g \cos \alpha$.

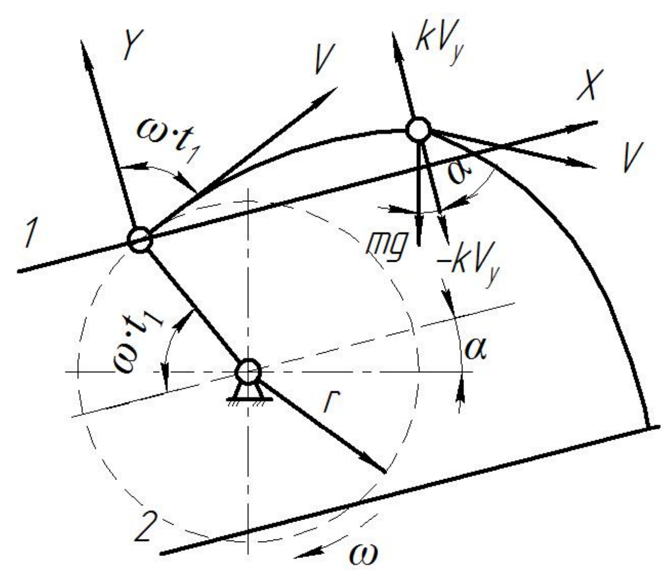


Рис. 7. Схема сил, действующих на соломистый ворох при его полёте

Время *T* максимального подъёма $Y_{\max}$ при полёте соломистого вороха

$$T = \left(1 / a\right) \ln\left(g / b\right) \cos \alpha \quad (40)$$

При опускании соломистого вороха

$$Y = Y_{\max} - \left(g / a\right) \cos \alpha \left(t - T\right) + \left(g / a^2\right) \cos \alpha \left[1 - e^{-a(t-T)}\right], \quad (41)$$

где $Y_{\max} = \left(B / a^2\right)\left(1 - e^{-aT}\right) - \left(gT / a\right) \cdot \cos \alpha$

Координаты *X* перемещения соломин при опускании на клавишу определятся из выражения (39).

Для определения точки соударения соломин вороха с поверхностью клавиши необходимо совместное решение уравнения перемещения в направлении оси *Y* (соломин (39) или (41)) и уравнения перемещения по оси *Y* (система координат *XOY* в точке *O* отрыва соломин от клавиши) поверхности клавиши сепаратора:

$$Y = R \cdot \sin\left(\omega t_1 + \omega t\right) - R \cdot \sin \omega t_1 \quad (42)$$

Совместное решение уравнений (39), (41) и (42) определит время *t*, из уравнения (39) определится координата *X* соударения.

Тогда средняя скорость V_{1j} перемещения соломин по поверхности клавиш

$$V_{1j} = 1 / t_{цj}, \quad (43)$$

а среднее время $t_{цj}$ одного цикла перемещения соломин по поверхности клавиш равно времени одного оборота кривошипа

$$t_{цj} = 2\pi / \omega. \quad (44)$$

Выражения (1)—(44) позволяют оценивать вероятности прохождения сепаратора для ориентации соломин вороха при их дискретной длине l_j. Учитывая, что длина l_j j-го компонента соломистого вороха — случайная в вероятностно-статистическом смысле величина, оценим вероятности P_{1j} (11) и $P_{2/1j}$ (12) реализации соответствующих событий при задаваемой плотности вероятности $f(l)$ длины l_j соломин.

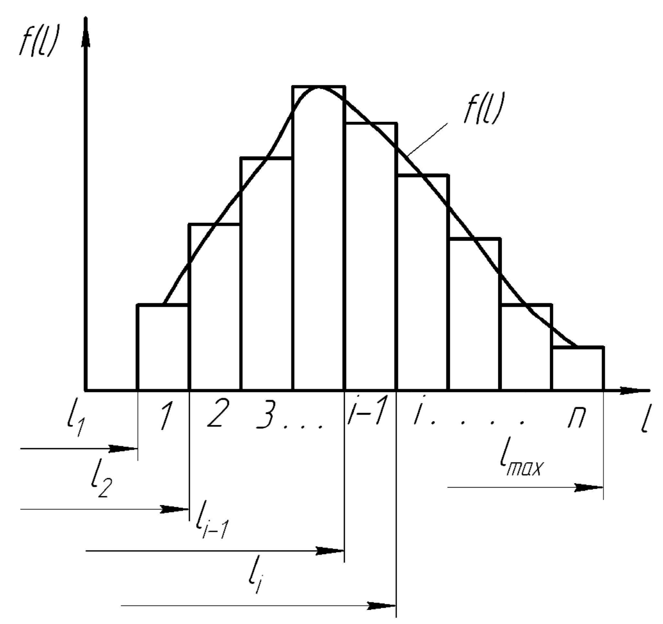


Рис. 8. Плотность вероятностей $f(l)$ случайной величины l

Для этих условий величины рассмотренных вероятностей будут иметь соответствующие для каждого среднего l_{ji} i-го класса функции $f(l)$, определяющие плотность вероятностей случайной величины $P_i(l)\cdot C_i(l_i)$ с учётом статистической вероятности $C_i(l_i)$ нахождения случайной величины l в i-м классе (рис. 9).

$$l_{ji} = (l_i - l_{i-1})/2 \tag{45}$$

$$C_i(l_i) = \int_{i-1}^{i} f(l)dl \Big/ \int_{1}^{n} f(l)dl \tag{46}$$

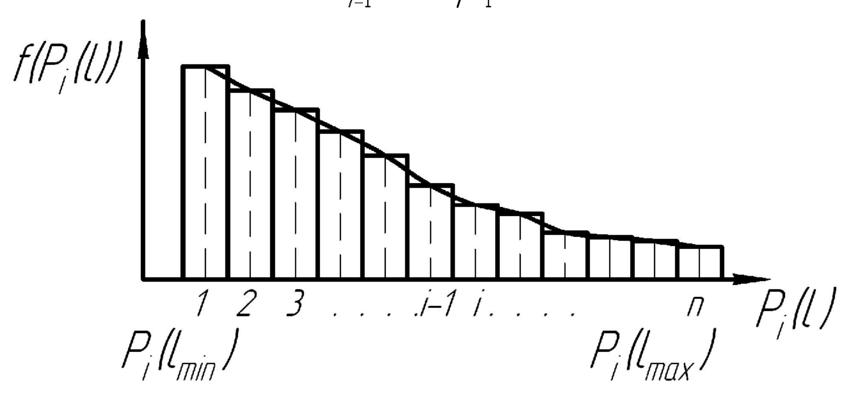


Рис. 9. Плотность вероятности случайной величины $P_i(l)$

Очевидно, что математическое ожидание величины вероятности $M\left[f\left(P_i(l)\right)\right]$ определяется из выражения [5]

$$M\left[f\left(P_i\left(l\right)\right)\right]=\int\limits_{P_i(l)\min}^{P_i(l)\max}P_i\left(l\right)f\left(P_i\left(l\right)\right)dP_i \qquad (47)$$

При наличии зависимости $f\left(P_i\left(l\right)\right)$ в виде гистограммы (рис. 9)

$$M\left[f\left(P_i\ \left(l\right)\right)\right]=\sum_{i=1}^{n}P_i\left(l\right)\cdot C\left(P_i\right) \qquad (48)$$

где i = 1, 2, …, n — число классов гистограммы; $C_i\left(P_i\right)$ — статистическая вероятность появления случайной величины $P_i\left(l\right)$ в i-м классе.

Используя выражения (47) и (48), можно оценить усреднённые величины вероятностей P_{1j} и $P_{2/1j}$ и величины полноты просевания и продольной ориентации ε_j из выражения (7) j-х компонентов соломистого вороха на клавишах сепаратора ОУСЗК при задаваемой плотности вероятностей $f\left(l\right)$.

Для условий V = 0,44 м/с, t = 0,25 с (закономерности клавишного соломотряса), l = 2 м, b = 150 мм, ψ = 45° и различных длин соломин разработан алгоритм счёта и оценено влияние шага S линейчатой решётки на величину полноты просеивания ε_j j-х соломин различной длины через сепаратор-ориентатор (рис. 10), и для этих же условий, при S = 250 мм, — влияние длины l сепаратора-ориентатора на величину ε_j (рис. 11).

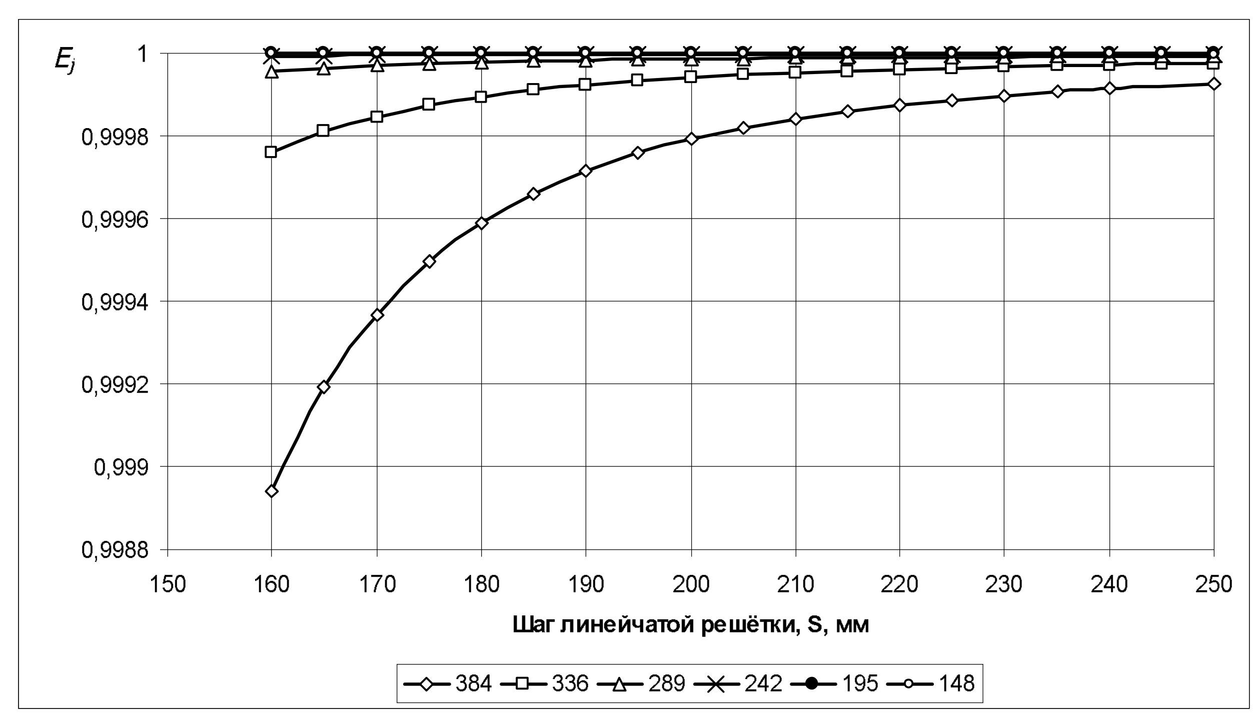


Рис. 10. Зависимость полноты просевания ε_j j-х соломин длиной l_j через клавишный сепаратор-ориентатор (b = 150 мм, ψ = 45°, l = 2 м) от величины шага S линейчатой решётки клавиш: l_j = 384,17 мм, l_j = 336,95 мм, l_j = 289,73 мм, l_j = 242,5 мм, l_j = 195,28 мм, l_j = 148,06 мм

Полученные закономерности $\varepsilon_j=f\left(S\right)$ и $\varepsilon_j=f\left(l\right)$ позволяют в первом приближении оценить основные геометрические параметры сепаратора-ориентатора соломистого вороха.

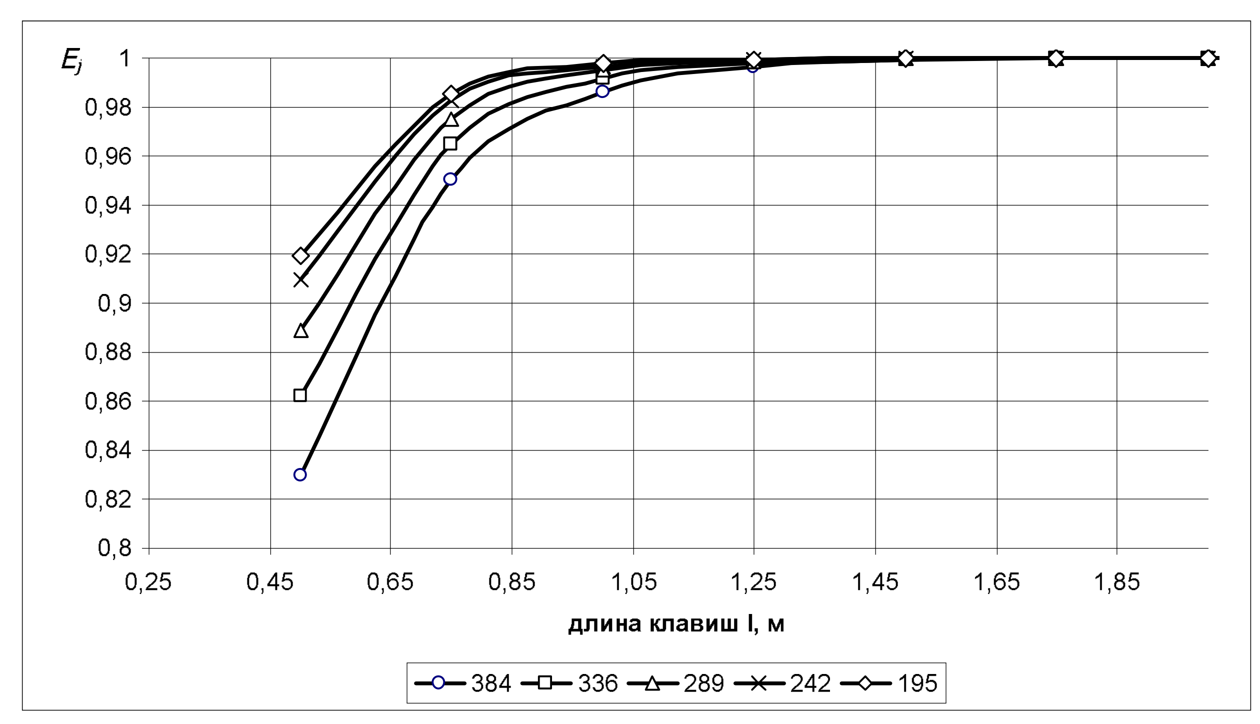


Рис. 11. Зависимость полноты просевания ε_j j-х соломин различной длины l_j через клавишный сепаратор-ориентатор (S = 250 мм, b = 150 мм) от его длины l: l_j = 384,17 мм, l_j = 336,95 мм, l_j = 289,73 мм, l_j = 242,5 мм, l_j = 195,28 мм)

Выводы. Полученные стохастические выражения математической модели позволяют оценивать закономерности сепарации и ориентации соломин вороха перед их подачей на измельчитель, обеспечивая при этом условия для их качественного измельчения. Построенный алгоритм расчёта позволяет проводить параметрический синтез сепаратора-ориентатора и оценивать его основные показатели функционирования.

Библиографический список

1. Эйгер, М. И. Обоснование и исследование пальцевой решётки для высокопроизводительной очистки зернового вороха / М. И. Эйгер. — Автореферат дис. к.т.н.: 05.20.01 — Ростов-на-Дону, 1970. — 22 с.

2. Ермольев, Ю. И. Моделирование процесса сепараций сыпучих гетерогенных сред на транспортёрном скальператоре / Ю. И. Ермольев, Г. И. Лукинов, М. В. Шелков // Известия ТГУ. — Сер. Проблемы сельскохозяйственного машиностроения. — Тула, 2004. — Вып. 1. — С. 43—52.

3. Ермольев, Ю. И. Интенсификация технологических операций в воздушно-решётных зерноочистительных машинах / Ю. И. Ермольев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1997. — 494 с.

4. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория, расчёт) / И. А. Долгов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 706 с.

5. Ермольев, Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учебное пособие / Ю. И. Ермольев. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. — 245 с.

6. Григорьев, С. М. К теории плоских решёт / С. М. Григорьев // Записки ЛСХИ. — Ленинград; Пушкин, 1965. — Т. 96. — С. 171—188.

Материал поступил в редакцию 23.03.2012.

References

1. E`jger, M. I. Obosnovanie i issledovanie pal`cevoj reshyotki dlya vy`sokoproizvodi-tel`noj ochistki zernovogo voroxa / M. I. E`jger. — Avtoreferat dis. k.t.n.: 05.20.01 — Rostov-na-Donu, 1970. — 22 s. — In Russian.
2. Ermol`ev, Yu. I. Modelirovanie processa separacij sy`puchix geterogenny`x sred na transportyornom skal`peratore / Yu. I. Ermol`ev, G. I. Lukinov, M. V. Shelkov // Izvestiya TGU. — Ser. Problemy` sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya. — Tula, 2004. — Vy`p. 1. — S. 43—52. — In Russian.
3. Ermol`ev, Yu. I. Intensifikaciya texnologicheskix operacij v vozdushno-reshyotny`x zer-noochistitel`ny`x mashinax / Yu. I. Ermol`ev. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 1997. — 494 s. — In Russian.
4. Dolgov, I. A. Uborochny`e sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` (konstrukciya, teoriya, ras-chyot) / I. A. Dolgov. — Rostov-na-Donu: Izd. Centr DGTU, 2003. — 706 s. — In Russian.
5. Ermol`ev, Yu. I. Osnovy` nauchny`x issledovanij v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: uchebnoe posobie / Yu. I. Ermol`ev. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2003. — 245 s. — In Russian.
6. Grigor`ev, S. M. K teorii ploskix reshyot / S. M. Grigor`ev // Zapiski LSXI. — Leningrad; Push-kin, 1965. — T. 96. — S. 171—188. — In Russian.

PROBABILISTIC MODEL FOR LONGITUDINAL ORIENTATION PROCESS OF CEREAL STRAW STALKS

Y. I. Ermolyev, A. V. Butovchenko
(Don State Technical University),
S. V. Belov, R. E. Fomenko
("Donskaya Gofrotara" LLC)

A general approach to the development of the stochastic mathematical model of the longitudinal orientation process of the long strawy fractions on the special orienting device is given.
Keywords: *stochastic model, separator-tracker, strawy fractions, process factors.*

УДК 541.135:547.822.5

Электрохимическое восстановление производных ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина до соответствующих пирролидинов

И. Ю. Жукова, И. С. Кашпаров
(Донской государственный технический университет),
Д. С. Гарбузняк
(Южно-Российский государственный технический университет)

Описывается способ восстановления соединений ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина до пирролидинов на предварительно полученной электролизом раствора гидроксида натрия амальгаме натрия.
Ключевые слова: *2,2,5,5-тетраметилпирролидины, нитроксильные радикалы, электрохимическое восстановление.*

Введение. Свободные нитроксильные радикалы ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролидина широко используются в качестве антиоксидантов, инициаторов радикальной полимеризации, термо- и светостабилизаторов полимеров, спиновых меток и зондов, в качестве контрастных агентов при изучении биологических объектов [1—3], а также в других областях науки и техники [4—6]. Тем не менее, из-за сложности их получения эти соединения остаются труднодоступными. Обычно процесс их синтеза включает следующие реакции (рис. 1):

X =Cl, Br, I

Рис. 1. Схема 1

Определённые трудности возникают при восстановлении соединений ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина до соответствующих пирролидинов. Нами предложен эффективный электрохимический способ восстановления пирролинов до пирролидинов на предварительно полученной электролизом раствора NaOH амальгаме натрия. Реакция проходит в мягких условиях с количественным выходом.

Метод может быть также использован для восстановления нитроксильных радикалов ряда пирролина до соответствующих радикалов ряда пирролидина. Поляризационные исследования показали, что восстановление нитроксильной группы является прямым процессом, а восстановление двойной связи происходит амальгамой, образующейся при электролизе раствора NaOH на ртутном катоде.

Электрохимическое восстановление соединений ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина до соединений ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролидина на ртутном катоде. В электрохимическом синтезе 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидина (2) (рис. 2) образуется смесь соединений, содержащая главным образом пирролидин (2), (выход по веществу 65—78 %, по току 32—78 %) с примесью 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролина (1). Хотя примесь этого соедине-

ния незначительна (от 3 до 15 %) отделить его от основного продукта кристаллизацией или возгонкой не удаётся [7].

электролиз

KX, KOH

NH_3

$CONH_2$

(2)

NaOH

Hg-катод

(1)

X=Cl,Br,I

Рис. 2. Схема 2

Для того чтобы можно было использовать электрохимический метод получения соединения (2) в препаративных целях, была изучена реакция восстановления на амальгаме натрия 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролина (1). Эта реакция с количественным выходом приводит к восстановлению двойной связи и образованию соответствующего пирролидина (2) (рис. 2).

Разработанный метод восстановления двойной углерод-углеродной связи в смеси соединений ряда пирролина и пирролидина на амальгаме натрия применим и для получения эфиров ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролидина (4 а, б) (рис. 3).

COR

NaOH

Hg-катод

(3 а, б) (4 а, б)

R= (a) OCH_3; (б) OC_2H_5

Рис. 3. Схема 3

К сожалению, одновременное получение амальгамы натрия и восстановление двойной связи в эфирах (3а) и (3б) провести не удалось, так как эфиры (3а) и (3б) не растворяются в воде. Поэтому восстановление проводили в спирте (метанол, этанол) на предварительно полученной электролизом водного раствора NaOH амальгаме натрия [8]. Выход пирролидинов (4а) и (4б) при восстановлении смеси эфиров (3а) и (3б) на амальгаме натрия количественный. Поляризационные исследования также показывают, что восстановление двойной углерод-углеродной связи в эфирах (3а) и (3б) проходит на амальгаме натрия, так как добавление разного количества соответствующих эфиров (3а) и (3б) к 7 %-му раствору гидроксида натрия не изменяет вид фоновой кривой.

Аналогичным образом можно восстановить двойную углерод-углеродную связь в аминах (1, 5а, 5б) (рис. 4) и нитроксильных радикалах ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина (рис. 5).

(5 а, б) → NaOH, Hg-катод → (6 а, б)

R= (а) $NHCH_3$; (б) NH–(2,2,6,6-тетраметилпиперидин-4-ил)

Рис. 4. Схема 4

(7) → NaOH, Hg-катод → (8) → NaOH, Hg-катод → (9) → [O] → (10)

Рис. 5. Схема 5

Электрохимический метод восстановления двойной связи в нитроксильном радикале 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин-1-оксиле (7) является наиболее простым и удобным (рис. 5), тогда как применение других методов ограничено из-за восстановления нитроксильной группы до аминогруппы [9].

Образующийся в результате электрохимического процесса 3-карбоксамидо-1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (9) легко с количественным выходом окисляется в соответствующий нитроксильный радикал (10).

3-Карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин-1-оксил (10) является ключевым соединением в синтезе ряда важных спиновых меток. Исходным веществом для его получения является 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин (1), из которого каталитическим гидрированием получают соответствующий пирролидин (2) и затем окислением радикал (10) [10]. Из этой последовательности реакций наиболее сложным этапом является восстановление двойной связи в соединении (1). Известен метод получения соединения (10) из 4-оксо-2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксила, однако в этом случае соединение (10) содержит в качестве примеси 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин-1-оксил (7), который очень трудно отделить от основного продукта [11]. Поэтому этот метод получения радикала (10) практически нельзя использовать в препаративных целях.

В данной работе показано, что соединение (10) может быть получено электрохимическим восстановлением (7) на ртутном катоде с количественным выходом. Образующийся в результате электрохимического процесса 3-карбоксамидо-1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметилпирролин (8), затем 3-карбоксамидо-1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (9), который с количественным выходом химически окисляется в соответствующий радикал (10).

Поляризационные исследования показали, что восстановление нитроксильной группы является прямым процессом, а восстановление двойной связи происходит амальгамой, образующейся при электролизе раствора NaOH на ртутном катоде (рис. 6 и 7). При проведении реакции при потенциале –0,8 В, когда образование амальгамы исключено [8], единственным продуктом реак-

ции является соединение (8). Предложенный нами метод восстановления двойной связи в радикале (7) резко повышает перспективы использования одностадийного метода получения производных 3-карбокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидина электрохимическим галогенированием 4-оксо-2,2,6,6-тетраметилпиперидина (триацетонамина) [7].

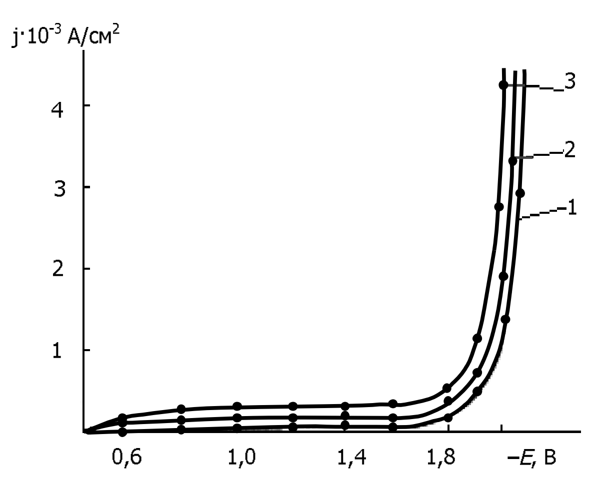


Рис. 6. Поляризационные кривые восстановления 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин-1-оксила (7). Катод — ртуть, анод — платина; 1 — фон: 7 %-й NaOH; 2 — фон/10^{-4} М соединения (7); 3 — фон/$2\cdot10^{-4}$ М соединения (7); = 0,002 В/с; *t* = 20 °С

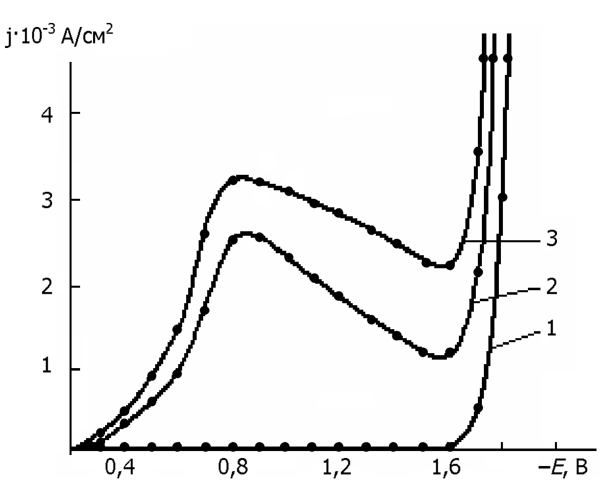


Рис. 7. Поляризационные кривые восстановления 3-карбоксами до-2,2,5,5-тетраметилпирролина (1). Катод — ртуть, анод — платина; 1 — фон: 7 %-й NaOH; 2 — фон/10^{-4} М соединения (1); 3 — фон / $2\cdot10^{-4}$ М соединения (1); v = 0,002 В/с; *t* = 20 °С

Экспериментальная часть. Для работы использовали реактивы компаний «Acros», «Merck» без дополнительной очистки. Амины и нитроксильные радикалы ряда 2,2,6,6-тетраметилпиперидина, 2,2,5,5-тетраметилпирролина и 2,2,5,5-тетраметилпирролидина были синтезированы по методикам, описанным в [10]. Для приготовления растворов использовали бидистиллят. Поляризационные измерения проводили на потенциостате П-5848 в трёхэлектродной ячейке ЯСЭ-2, в потенциодинамическом режиме, на ртутном электроде [8]. Площадь поверхности ртутного катода 2 $см^2$. Скорость развёртки потенциала 2 мВ/с. Потенциалы измерены относительно хлорсеребряного электрода сравнения типа ЭВЛ-1, потенциал которого при 25 °С в насыщенном водном растворе хлорида калия +0,22 В. Препаративный электролиз проводили на установке, включающей электролизёр, источник питания, контрольно-измерительную систему и систему термостатирования. Использовали типовой электролизёр объёмом 200—250 мл с водяной рубашкой, керамической диафрагмой и стеклянной лопастной или винтовой мешалкой [12]. Для изготовления ртутного катода использовали ртуть марки Р-2, предварительную очистку которой производили по известной методике [8].

Методики экспериментов.

I) 3-Карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (2). Синтез проводили в типовом диафрагменном электролизёре из батарейного стакана ёмкостью 200 мл [12]. В качестве катода использовали ртуть, которую наливали на дно электролизёра в таком количестве, чтобы она закрывала дно. Площадь ртутного электрода 38,5 $см^2$. Ток подводили с помощью медной проволоки, изолированной тефлоном или другим материалом по всей длине, за исключением конца (0,3 см), погружённого в ртуть [13]. В качестве анода использовали платиновую спираль площадью 10 $см^2$. В катодное пространство электролизёра загружали 2,5 г (0,015 моль) смесь соединений 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролина (1) и 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидина (2), полученную по методике [7] и 50 мл 7 %-го раствора гидроксида натрия. Анодное пространство заполняли 7 %-м раствором щёлочи. Электролиз проводили при силе тока 1,5 А (плотность тока

0,04 А/см^2), температуре 30—40 °С, перемешивании и заканчивали после того как будет пропущено 2,2—3 F электричества (0,9—1,2 А·ч). Конец реакции определяли при помощи тонкослойной хроматографии (ТСХ) по исчезновению исходного вещества на Al_2O_3 (II степень активности по Брокману, элюент хлористый метилен-этанол 2:1, проявитель — пары I_2). После окончания электролиза катодную жидкость сифонировали, насыщали твёрдым гидроксидом калия, выпавший осадок отделяли фильтрованием. Выход 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидина (2) 2,4 г (96 %). Т. пл. 128—129 °С (из толуола). Проба смешения с заведомым образцом [10] не даёт депрессии температуры плавления.

II) 3-Карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин-1-оксил (10). Электролизёр, катод, анод, условия проведения электролиза описаны в синтезе I. В катодное пространство электролизёра загружали 3,6 г (0,02 моль) 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин-1-оксила (7) и 50 мл 7 %-го раствора гидроксида натрия. Анодное пространство также заполняли 7 %-м раствором гидроксида натрия. Заканчивали синтез после того как было пропущено 3,3 F электричества (1,8 А·ч). Образующийся в результате электролиза 3-карбоксамидо-1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (9) выпадает в виде кристаллического бесцветного осадка. После окончания электролиза катодную жидкость сифонировали, осадок отделили. Выход 3-карбоксамидо-1-гидрокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидина (9) 3,4 г (93 %). Т. пл. 197—198 °С. Окисление гидроксиламина (9) проводили по методике, предложенной в работе [14]. Выход 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин-1-оксила (10) 3,2 г (96 %). Т. пл. 171—172 °С (возгонка в вакууме). Соединение (10) получили встречным синтезом [10], проба смешения с заведомым образцом не даёт депрессии температуры плавления.

III) 3-Карбметокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (4а). Электролизёр, катод, анод описаны в синтезе I. В катодное пространство электролизёра загружали 50 мл 7 %-го водного раствора NaOH. Анодное пространство заполняли 7 %-м раствором щёлочи. Электролиз для получения амальгамы проводили при силе тока 5,2 А (плотность тока 0,1 А/см^2), температуре 30—40 °С, перемешивании и заканчивали после того как было пропущено 2,2 F электричества (0,9 А·ч). После окончания электролиза раствор щёлочи сливали и в электролизёр загружали 2 г (0,011 моль) смеси соединений (3а) и (4а), которая получена по методике [15] и 30 мл метанола. Конец реакции определяли методом ТСХ на Al_2O_3 (II степень активности по Брокману, элюент — CH_2Cl_2 , проявитель — пары I_2) по исчезновению соединения (3а). После окончания реакции метанол удаляли и получали 1,8 г (90 %) маслянистого вещества (4а). Т. пл. пикрата соединения (4а) 124—126 °С. Проба смешения пикрата полученного соединения (4а) с заведомым образцом не даёт депрессии температуры плавления [16].

IV) 3-Карбэтокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (4б). Аналогично синтезу III восстановлением смеси 3-карбэтокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидина (4б) и 3-карбэтокси-2,2,5,5-тетраметилпирролина (3б) был получен чистый 3-карбэтокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (4б).

V) N-метил-3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролин (5а). 7,6 г (0,02 моль) 3,5-дибром-4-оксо-2,2,6,6-тераметилпиперидин гидробромида прибавляли к 40,0 г 7 %-го раствора метиламина (pH 10—11). Смесь перемешивали в течение двух часов. Затем реакционную смесь экстрагировали хлористым метиленом (2x25 мл). Хлористый метилен удаляли в роторном испарителе и получали маслянисто-жёлтые кристаллы N-метил-3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролина (5а). Продукт (5а) дважды перекристаллизовывали из петролейного эфира. Выход 2,0 г (55 %). Т. пл. 63—65 °С (из петролейного эфира). Найдено %: C 64,41; H 10,26; N 15,67. $C_{10}H_{18}N_2O$. Вычислено %: C 65,93; H 9,89; N 15,38.

VI) N-метил-3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (6а). Используемые в синтезе электролизёр, катод, анод описаны в синтезе I. В катодное пространство электролизёра загружали 1,6 г (0,01 моль) N-метил-3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролина (5а) и 50 мл

7 %-го раствора гидроксида натрия. Анодное пространство также заполняли 7 %-м раствором гидроксида натрия. Электролиз проводили при силе тока 1,5 А (плотность тока 0,04 А/см^2), температуре 30—40 °С, перемешивании и заканчивали после того как было пропущено 3,3 F электричества (1,8 А·ч). Конец реакции определяли при помощи ТСХ по исчезновению исходного вещества. После окончания электролиза катодную жидкость сифонировали, насыщали твёрдым гидроксидом калия и экстрагировали хлористым метиленом. Хлористый метилен отгоняли и получали N-метил-3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидин (6а). Выход (6а) 1,3 г (83 %). Т. пл. 125—128 °С (из бензола). Соединение (6а) получено встречным синтезом [10], проба смешения с заведомым образцом не даёт депрессии температуры плавления.

VII) 4-(2,2,5,5-тетраметил-1,2,5-тригидропирролин-3-карбоксамидо)-2,2,6,6-тераметилпиперидин (5б).

19,0 г (0,05 моль) 3,5-дибром-4-оксо-2,2,6,6-тераметилпиперидин гидробромида прибавляли к раствору 31,21 г (0,2 моль) 4-амино-2,2,6,6-тетраметилпиперидина в 30 мл воды. Смесь перемешивали в течение 12 часов. Затем к раствору добавляли карбонат калия до сильно щелочной реакции (pH 10—11), органический слой экстрагировали хлористым метиленом (2x25 мл). Хлористый метилен удаляли в роторном испарителе и получали 4-(2,2,5,5-тетраметил-1,2,5-тригидропирролин-3-карбокс-амидо)-2,2,6,6-тераметилпиперидин (5б). Выход (5б) 13,9 г (87 %). Т. пл. 186—188 °С (из четырёххлористого углерода). ИК-спектр, см$^{-1}$: 3280, 3050, 1650, 1610, 1540. Найдено %: C 69,98; H 11,02; N 14,01. $C_{18}H_{32}N_3O$. Вычислено %: C 70,31; H 10,82; N 13,67.

VIII) 4-(2,2,5,5-тетраметил-1,2,5-тригидропирролидин-3-карбоксамидо)-2,2,6,6-тераметилпиперидин (6б). Электролизёр, катод, анод, условия проведения электролиза описаны в синтезе I. В катодное пространство электролизёра загружали 1,6 г (0,01 моль) 4-(2,2,5,5-тетраметил-1,2,5-тригидропирролин-3-карбоксамидо)-2,2,6,6-тераметилпи-перидина (5б) и 50 мл 7 %-го раствора гидроксида натрия. Анодное пространство также заполняли 7 %-м раствором гидроксида натрия. Электролиз заканчивали после того как было пропущено 3,3 F электричества (1,8 А·ч). Конец реакции определяли при помощи ТСХ по исчезновению исходного вещества. После окончания электролиза катодную жидкость сифонировали, насыщали твёрдым гидроксидом калия и экстрагировали хлористым метиленом. Хлористый метилен удаляли и получали белые кристаллы 4-(2,2,5,5-тетраметил-1,2,5-тригидропирролидин-3-карбоксамидо)-2,2,6,6-тераметилпиперидина (6б). Выход (6б) 1,2 г (74 %). Т. пл. 178—180 °С (из четырёххлористого углерода). Найдено %: C 70,12; H 11,17; N 13,91. $C_{18}H_{34}N_3O$. Вычислено %: C 70,31; H 10,82; N 13,67.

Заключение. Предложенный метод восстановления двойной углерод-углеродной связи в соединениях ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролина на амальгаме натрия является перспективным одностадийным способом получения соединений ряда 2,2,5,5-тетраметилпирролидина.

Библиографический список

1. Метод спиновых меток и зондов. Проблемы и перспективы: Серия «Спиновые метки и зонды в биологии и медицине»/ под ред. Берлинера А. Б.// Москва: Наука, 1986. — 272 с.

2. Kocherginsky, N. Nitroxide spin labels. Reactions in biochemistry and chemistry. / N. Kocherginsky, H. M. Swartz // Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. — 1995. — 270 p.

3. Розанцев, Э. Г. Триацетонамин в химии нитроксильных радикалов / Э. Г. Розанцев, В. Д. Шолле, Е. Ш. Каган // Нитроксильные радикалы: синтез, химия, приложения. — Москва: Наука, 1987. — 271 с.

4. Khramtsov, V. V. Nitroxide in bioresearch / V. V. Khramtsov // Current Organic Chemistry. — 2005. — V. 9. — P. 909—928.

5. Sheldon, R. A. Organocatalytic oxidations mediated by nitroxyl radicals. / R. A. Sheldon, I.W.C.E. Arends // Adv. Synth. Catal. Reviews. — 2004. — V. 346. — P. 1051—1071.

6. Ciriminna, R. Industrial Oxidations with Organocatalityst TEMPO and its Derivatives// R. Ciriminna, M. Pagliaro / Reviews. Organic Process Research and Development. — 2010, № 14. — P. 245—251.

7. Каган, Е. Ш. Электрохимическое иодирование триацетонамина. Синтез 3-карбоксамидо-2,2,5,5-тетраметилпирролидина / Е. Ш. Каган, И. Ю. Жукова, С. А. Пожидаева, Е. И. Коваленко // Электрохимия. — 1996. — Т. 32, № 1. — С. 100—104.

8. Смирнов, В. А. Восстановление амальгамами / В. А. Смирнов // Ленинград: Химия, 1970. — 228 с.

9. Розанцев, Э. Г. Органическая химия свободных радикалов / Э. Г. Розанцев, В. Д. Шолле // Москва: Химия, 1979. — 343 с.

10. Розанцев, Э. Г. Свободные иминоксильные радикалы / Э. Г. Розанцев. — Москва: Химия, 1970. — 220 с.

11. Каган, Е. Ш. Электрохимическое восстановление нитроксильных радикалов на ртути. Синтез 3-карбоксамидо-2,2,5,5- тетраметилпирролидина. / Е. Ш. Каган, С. А. Пожидаева, Е. И. Коваленко, А. В. Огарёва // Материалы Всероссийской конференции молодых учёных: «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии» — Саратов: СГУ, 25—26 июня 1997.

12. Томилов, А. П. Препаративная органическая электрохимия / А. П. Томилов, Е. Ш. Каган, В. А. Смирнов, И. Ю. Жукова // Новочеркасск, 2002. — 152 с.

13. Мильтон, Дж. А. Электродные процессы в органической химии / А. Дж. Мильтон // Пер. с англ.; Ленинград: Химическая литература, 1961. — С. 180.

14. Криницкая, Л. А. Окисление дитреталкилгидроксиламинов в нитроксильные радикалы азотистой кислотой / Л. А. Криницкая, Л. Б. Володарский // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1983, № 2. — С. 391—394.

15. Кривошеева, С. Н. Электрохимический синтез 3-карбметокси-2,2,5,5-тетраметилпирролидина / С. Н. Кривошеева, И. Ю. Жукова, Е. Ш. Каган// Журнал прикладной химии. — 2002. — Т. 75. Вып. 9. — С. 1566—1568.

16. Криницкая, Л. А. 3-Моногалоидпроизводные триацетонамина, 1-окси-2,2,6,6-тетраметил-4-оксопиперидина и 2,2,6,6-тетраметил-4-оксопиперидин-1-оксила / Л. А. Криницкая, Л. Б. Володарский // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1982, № 2. — С. 443—446.

Материал поступил в редакцию 19.06.2012.

References

1. Metod spinovy`x metok i zondov. Problemy` i perspektivy`: Seriya «Spinovy`e metki i zondy` v biologii i medicine»/ pod red. Berlinera A. B.// Moskva: Nauka, 1986. — 272 s. — In Russian.

2. Kocherginsky, N. Nitroxide spin labels. Reactions in biochemistry and chemistry. / N. Kocherginsky, H. M. Swartz // Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. — 1995. — 270 p.

3. Rozancev, E`. G. Triacetonamin v ximii nitroksil`ny`x radikalov / E`. G. Rozancev, V. D. Sholle, E. Sh. Kagan // Nitroksil`ny`e radikaly`: sintez, ximiya, prilozheniya. — Moskva: Nauka, 1987. — 271 s. — In Russian.

4. Khramtsov, V. V. Nitroxide in bioresearch / V. V. Khramtsov // Current Organic Chemistry. — 2005. — V. 9. — P. 909—928.

5. Sheldon, R. A. Organocatalytic oxidations mediated by nitroxyl radicals. / R. A. Sheldon, I.W.C.E. Arends // Adv. Synth. Catal. Reviews. — 2004. — V. 346. — P. 1051—1071.

6. Ciriminna, R. Industrial Oxidations with Organocatalityst TEMPO and its Derivatives// R. Ciriminna, M. Pagliaro / Reviews. Organic Process Research and Development. — 2010, № 14. — P. 245—251.

7. Kagan, E. Sh. E`lektroximicheskoe iodirovanie triacetonamina. Sintez 3-karboksamido-2,2,5,5-tetrametilpirrolidina / E. Sh. Kagan, I. Yu. Zhukova, S. A. Pozhidaeva, E. I. Kovalenko // E`lektroximiya. — 1996. — T. 32, № 1. — S. 100—104. — In Russian.
8. Smirnov, V. A. Vosstanovlenie amal`gamami / V. A. Smirnov // Leningrad: Ximiya, 1970. — 228 s. — In Russian.
9. Rozancev, E`. G. Organicheskaya ximiya svobodny`x radikalov / E`. G. Rozancev, V. D. Sholle // Moskva: Ximiya, 1979. — 343 s. — In Russian.
10. Rozancev, E`. G. Svobodny`e iminoksil`ny`e radikaly` / E`. G. Rozancev. — Moskva: Ximiya, 1970. — 220 s. — In Russian.
11. Kagan, E. Sh. E`lektroximicheskoe vosstanovlenie nitroksil`ny`x radikalov na rtuti. Sintez 3-karboksamido-2,2,5,5- tetrametilpirrolidina. / E. Sh. Kagan, S. A. Pozhidaeva, E. I. Kovalenko, A. V. Ogaryova // Materialy` Vserossijskoj konferencii molody`x uchyony`x: «Sovremenny`e problemy` teoreticheskoj i e`ksperimental`noj ximii» — Saratov: SGU, 25—26 iyunya 1997. — In Russian.
12. Tomilov, A. P. Preparativnaya organicheskaya e`lektroximiya / A. P. Tomilov, E. Sh. Kagan, V. A. Smirnov, I. Yu. Zhukova // Novocherkassk, 2002. — 152 s. — In Russian.
13. Mil`ton, Dzh. A. E`lektrodny`e processy` v organicheskoj ximii / A. Dzh. Mil`ton // Per. s angl.; Leningrad: Ximicheskaya literatura, 1961. — S. 180. — In Russian.
14. Kriniczkaya, L. A. Okislenie ditretalkilgidroksilaminov v nitroksil`ny`e radikaly` azotistoj kislotoj / L. A. Kriniczkaya, L. B. Volodarskij // Izv. AN SSSR. Ser. xim. — 1983, № 2. — S. 391—394. — In Russian.
15. Krivosheeva, S. N. E`lektroximicheskij sintez 3-karbmetoksi-2,2,5,5-tetrametilpir-rolidina / S. N. Krivosheeva, I. Yu. Zhukova, E. Sh. Kagan// Zhurnal prikladnoj ximii. — 2002. — T. 75. Vy`p. 9. — S. 1566—1568. — In Russian.
16. Kriniczkaya, L. A. 3-Monogaloidproizvodny`e triacetonamina, 1-oksi-2,2,6,6-tetrametil-4-oksopiperidina i 2,2,6,6-tetrametil-4-oksopiperidin-1-oksila / L. A. Kriniczkaya, L. B. Volodarskij // Izv. AN SSSR. Ser. xim. — 1982, № 2. — S. 443—446. — In Russian.

ELECTROCHEMICAL REDUCTION OF 2,2,5,5-TETRAMETHYLPYRROLINE DERIVATIVES TO CORRESPONDING PYRROLIDINES

I. Y. Zhukova, I. S. Kashparov
(Don State Technical University),
D. S. Garbuznyak
(South-Russian State Technical University)

The reduction technique of 2,2,5,5-tetramethylpyrroline compounds to pyrrolidines on sodium amalgam preformed under the electrolysis of sodium hydroxide solution is described.
Keywords: *2,2,5,5-tetramethylpyrrolidines, nitroxide radicals, electrochemical reduction.*

УДК 631.316.02-001.5

Центробежное фракционирование длинностебельных материалов

И. В. Игнатенко, А. В. Погорелов
(Донской государственный технический университет)

Для фракционирования длинностебельных сельскохозяйственных материалов по длине предложен принцип центробежного фракционирования без применения сит. Описано устройство бесситового центробежного фракционера и его расчётная схема. Определены основные процессы: разгон частиц центробежным диском, разбрасывание в кольцевом аэродинамическом канале и разделение разделительными цилиндрами. Произведено математическое моделирование процессов разгона частиц центробежным диском и движения сброшенных частиц в восходящем воздушном потоке. Проведён компьютерный эксперимент. Получены траектории движения частиц в кольцевом аэродинамическом канале. Отличие траекторий так значительно, что можно говорить о сепарационных свойствах сочетания центробежного поля сил и воздушного потока. Приводятся рекомендации по компоновке разделительных цилиндров. Результаты моделирования свидетельствуют о принципиальной возможности реализации процесса фракционирования длинностебельных материалов центробежным рабочим органом за счёт различий траекторий разброса частиц в воздушном потоке.
Ключевые слова: *переработка сельскохозяйственного сырья, центробежное фракционирование, воздушный поток, математическое моделирование, компьютерный эксперимент.*

Введение. В сельскохозяйственном производстве возникает необходимость разделения длинностебельных материалов типа соломы по длине на фракции [1]. Широкое распространение получило использование соломистой подстилки при напольном выращивании бройлеров. Однако солома, прошедшая простое измельчение, не соответствует зоотехническим требованиям по длине резки (рекомендованная длина — от 100 до 180 мм). Слишком короткие фракции представляют опасность для птицы при заглатывании. Длинная фракция не образует слоя нужной плотности.

Состояние проблемы. Возникает задача механизации фракционирования соломистой массы, получаемой при уборке зерновых культур в качестве отходов. Фракционирование длинностебельной массы не имеет должного обеспечения техническими средствами. Типовые технологии фракционирования продуктов основаны на применении различных сит. Для длинностебельных материалов ситовые технологии неработоспособны. Требуется разработка бесситовых технологий.

Цель статьи — обоснование использования для фракционирования соломистой массы центробежного бесситового рабочего органа.

Принцип центробежного бесситового фракционирования. Принцип центробежного бесситового фракционирования основан на аэродинамической сепарации потока частиц, разбрасываемого быстровращающимся диском. В нём совмещены процессы разгона частиц на центробежном диске и воздушная сепарация сбрасываемых с диска частиц в аспирационном кольцевом канале. Функциональная схема центробежного фракционирования соломистых материалов представлена на рис. 1.

Основными рабочими органами машины являются быстровращающийся диск 2 и разделительные цилиндры 5. Длинностебельная масса после измельчения через питатель 1 подаётся в центр диска 2, приводимый во вращение от электродвигателя 3, и под действием центробежных сил движется по нему, набирая скорость. Частицы, сбрасываемые с диска, попадают в кольцевой зазор, продуваемый потоком воздуха от вентилятора 4. Траектории частиц в зазоре зависят от их свойств — в частности от парусности. Лёгкие частицы будут уноситься с воздухом в отводящие патрубки, остальные будут попадать в разные цилиндры 5, распределяясь по фракциям.

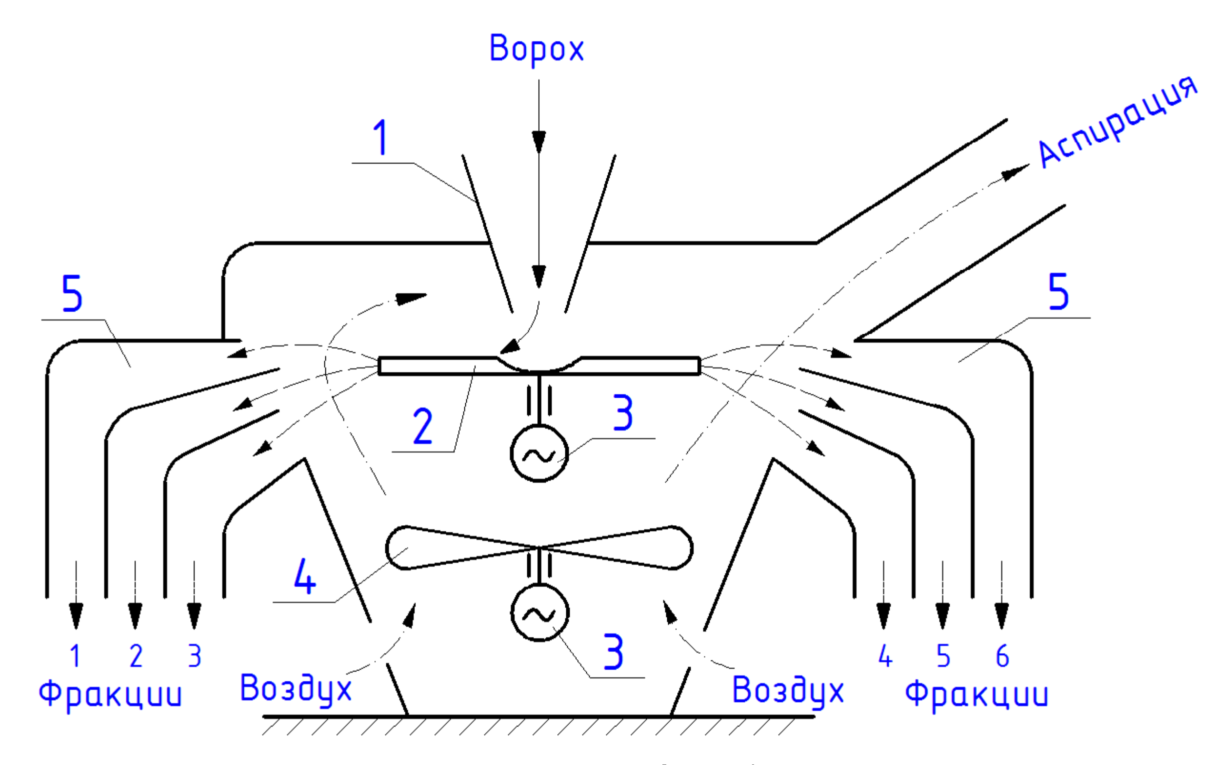


Рис. 1. Функциональная схема центробежного фракционирования:
1 — питатель; 2 — диск; 3 — электродвигатели; 4 — вентилятор; 5 — разделительные цилиндры

Расчётная схема процесса центробежного фракционирования. Расчётная схема (рис. 2) представляет собой плоский диск, вращающийся на вертикальном валу с угловой скоростью ω. Поток стебельной массы считается состоящим из отдельных длинных частиц, не взаимодействующих друг с другом, имеющих разную массу *m* и размеры: длину *ℓ*, ширину *b*, толщину δ. Частица считается длинной, если её толщина и ширина намного меньше длины *ℓ*. Длинная частица поступает на диск в точку с начальным радиусом r_0 (положение 1). Ориентация её характеризуется углом φ_1 случайной величины. Силами трения частица увлекается вращающимся диском в сложное движение: переносное вращательное вместе с диском и относительное поступательное по диску.

Помимо сил трения на частицу действуют центробежные силы, распределённые по её длине неравномерно, так что образуется крутящий момент $M_к$. Под действием центробежных сил частица движется к краю диска (положение 2), одновременно разворачиваясь, уменьшая угол ориентации ($\varphi_2 < \varphi_1$). Её устойчивое состояние наступает, когда частица расположится по радиусу (положение 3). Тогда угол ориентации $\varphi_3 = 0$, закручивающий момент $M_к = 0$.

По достижении края диска частица сбрасывается с него с абсолютной скоростью $V_а$ и движется в воздушном канале между диском и разделительными конусами, подвергаясь воздействию воздушного потока со скоростью *u*. Под действием аэродинамических сил частица (точнее, её центр тяжести) описывает траекторию. Так как частицы имеют разную длину, массу и парусность, то и траектории их в воздушном потоке будут разные. Лёгкие частицы будут выдуваться наверх, тяжёлые, длинные — падать вниз.

Разделение на фракции по длине осуществляется кольцевыми каналами, расположенными на пути потока сброшенных с диска частиц.

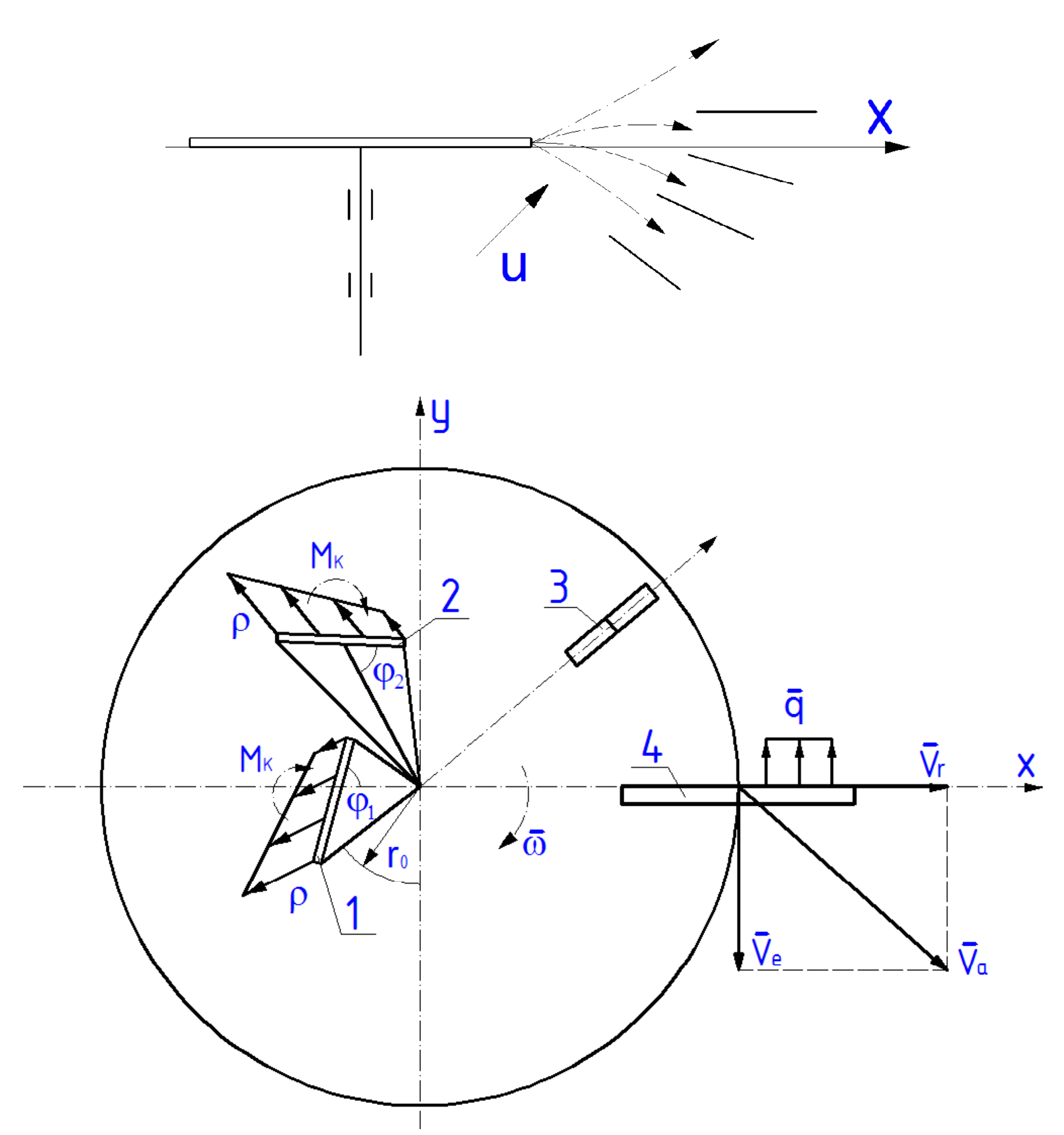


Рис. 2. Расчётная схема центробежного фракционирования

В расчётной схеме присутствуют три разных процесса:

1) разгон — движение длинной шероховатой частицы по вращающемуся диску;

2) разбрасывание — движение частицы в воздушном потоке с начальной скоростью по разным траекториям;

3) разделение потока частиц на фракции по кольцевым каналам.

Математическая модель фракционирования включает модели этих трёх процессов.

Математическое моделирование движения частицы по диску. Движение частицы по вращающемуся диску — хорошо проработанный в литературе вопрос [2]. Его теория, разработанная академиком П. М. Василенко, представлена в учебниках. Однако теория предполагает, что частица круглая, и требует доработки, если речь идёт о длинной частице.

Представим относительное движение частицы по диску как смещение центра тяжести длинной частицы и её вращение в плоскости диска вокруг центра тяжести.

Смещение центра тяжести ξ рассматриваем аналогично задаче П. М. Василенко как движение точечной массы *m* по горизонтальному диску с прямыми лопастями, установленными под углом ψ к радиусу.

Уравнение движения центра масс по Василенко П. М.

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = \left[r_0\omega^2\cos(\psi_0 \pm \phi)/\cos\phi\right] - fg \qquad (1)$$

Здесь f — коэффициент трения частицы о диск; φ — угол трения; $\mathrm{tg}\varphi = f$.

Уравнение (1) является неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка. Его характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0 \qquad (2)$$

имеет корни

$$\lambda_1 = \omega\cdot\sqrt{(1+f^2)} - f\omega, \quad \lambda_2 = -\omega\cdot\sqrt{(1+f^2)} - f\omega. \qquad (3)$$

Полное решение уравнения (1) с начальными условиями: при $t = 0$ $\xi = \xi' = 0$ имеет вид:

$$\xi = \left[\frac{fg}{\omega^2} - r_0\frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi}\right]\left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}\right) - 1\right] \qquad (4)$$

Скорость относительного движения частицы вдоль направления лопасти:

$$\dot{\xi} = \upsilon_r = \left[\frac{fg}{\omega^2} - r_0\frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos\varphi}\right]\left[\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\left(e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}\right)\right]. \qquad (5)$$

Переносная скорость представлена окружной тангенциальной скоростью $V_t = r\omega$. Абсолютная скорость рассева частиц

$$\bar{V_a} = \bar{V_r} + \bar{V_t}. \qquad (6)$$

Вращение длинной частицы вокруг центра тяжести описывается дифференциальным уравнением вида:

$$J\ddot{\varphi} = M_k - M_B, \qquad (7)$$

где J — центральный момент инерции длинной частицы; $M_к = ⅓m\omega^2\ell(r_0 + \xi)\sin\varphi$ — момент распределённой центробежной нагрузки; $M_B = K_a\,\ell\,\xi\cos\varphi$ — момент аэродинамических сил сопротивления; K_a — коэффициент аэродинамического сопротивления.

Уравнения (1) и (7) составляют полную математическую модель движения длинной частицы по диску.

Анализ уравнений показывает, что к моменту сброса с диска длинная частица стремится сориентироваться по направлению действия центробежных сил по радиусу диска. Этот центробежный эффект упорядочивает последующее движение сброшенных частиц в воздушном потоке. Анализ не обнаруживает дестабилизирующих факторов, способных вызвать кувыркание частицы. Поворот длинных сориентированных частиц просматривается только в горизонтальной плоскости.

Моделирование процессов разбрасывания. После сброса с диска частица движется в равномерном воздушном потоке со скоростью w под действием силы тяжести mg и силы лобового сопротивления R, направление которой противоположно направлению скорости V относительно воздушного потока (рис. 3). Для плоской задачи начальные условия: при $t = 0$ $w_0 = V_r = 0$. Уравнения движения будут:

$$m\ddot{x} = -R\cos\theta, \qquad (8)$$

$$m\ddot{z} = -R\sin\theta + mg, \qquad (9)$$

где θ — угол между осью X и направлением относительной скорости V.

Сила сопротивления R противоположна направлению относительной скорости частицы относительно потока V. Её величина пропорциональна квадрату относительной скорости, т. е. $R = k_R V^2$. Вместе с силой веса G сила сопротивления R образует равнодействующую силу F, направленную против скорости движения частицы и вызывающую торможение частицы. На рис 3. показано равновесие сил в момент сброса частицы с диска и в текущем положении. Сравнение

показывает, что по мере движения в воздушном потоке сила F уменьшается, но эффект её остаётся тормозящим.

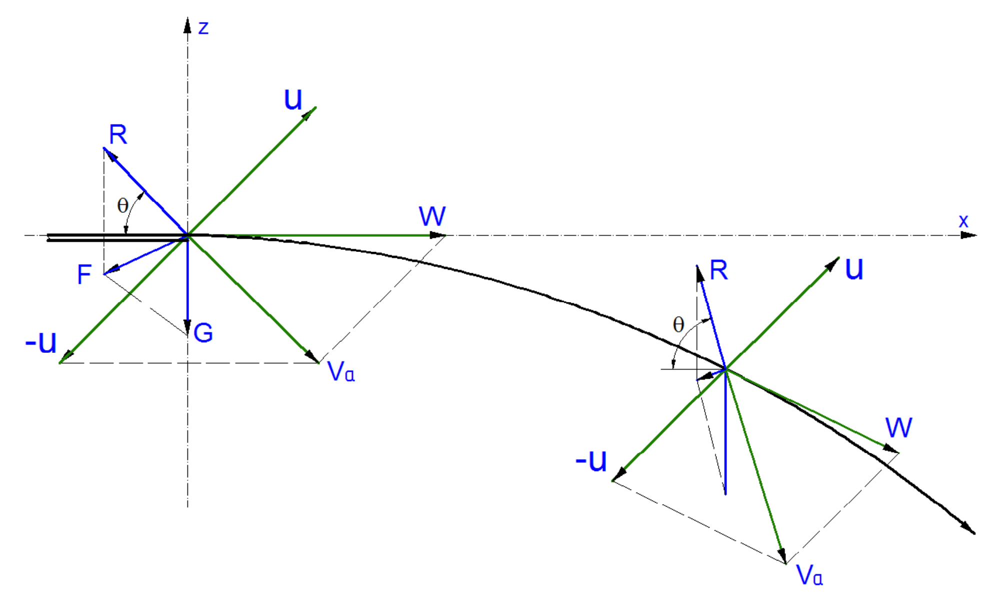


Рис. 3. Взаимодействие летящей частицы с воздушным потоком после сброса с диска

Проекции вектора относительной скорости на оси координат будут:

$$V_x = \dot{x} + u\cos\beta; \quad V_z = \dot{z} + u\sin\beta\,. \tag{10}$$

Выражение для модуля вектора скорости V

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_z^2} = \sqrt{u^2 + \dot{x}^2 + \dot{z}^2 + 2u\cdot(\dot{x}\cdot\cos\beta + \dot{z}\cdot\sin\beta)} \tag{11}$$

Коэффициент сопротивления k_R будем считать пропорциональным площади лобового сечения S частицы. $k_R = kS$. При скорости воздушного потока, близкой к скорости витания частицы, можно принять $k = \text{const}$.

Полное выражение для силы сопротивления:

$$R = k\,S\,V^2, \tag{12}$$

где V находится по выражению (11).

Выражения для $\sin\theta$ и $\cos\theta$ получим через проекции V:

$$\sin\theta = V_x / V, \cos\theta = V_z / V. \tag{13}$$

С учётом соотношений (10) получим:

$$\sin\theta = (\dot{z} + u\sin\beta)/V, \quad \cos\theta = (\dot{x} + u\cos\beta)/V\,. \tag{14}$$

Полученные соотношения (12) и (14) приводят дифференциальные уравнения задачи (8) и (9) к виду:

$$m\ddot{x} = -k\cdot S\cdot V(\dot{x} + u\cos\beta) \tag{15}$$

$$m\ddot{z} = mg - k\cdot S\cdot V\cdot(\dot{z} + u\cdot\sin\beta) \tag{16}$$

Если учесть, что объём частицы $O = a\cdot b\cdot \ell$, то масса частицы

$$m = O\gamma = a\cdot b\cdot \ell\cdot\gamma \tag{17}$$

Тогда площадь лобового сечения S можно выразить через массу частицы и её толщину, являющуюся квалитетом сепарации:

$$S = a\cdot b = m/(\gamma\cdot\ell) \tag{18}$$

С учётом соотношений (11) и (18) и уравнений (15) и (16) получим математическую модель процесса разброса в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\ddot{x} = -\frac{k}{\gamma \ell}(\dot{x} + u\cos\beta)\sqrt{u^2 + \dot{x}^2 + \dot{z}^2 + 2u\cdot(\dot{x}\cdot\cos\beta + \dot{z}\cdot\sin\beta)} \quad (19)$$

$$\ddot{z} = g - \frac{k}{\rho \ell}(\dot{z} + u\sin\beta)\sqrt{u^2 + \dot{x}^2 + \dot{z}^2 + 2u\cdot(\dot{x}\cdot\cos\beta + \dot{z}\cdot\sin\beta)} \quad (20)$$

Отличительной особенностью уравнений является наличие в них членов, зависящих от длины частицы ℓ.

Уравнения трансцендентны и алетического решения не имеют. Для построения траекторий относительного движения частиц полученные уравнения решали методом компьютерного моделирования в среде Simulink MatLab.

Рассчитаны траектории частиц соломистой массы. На рис. 4 представлены траектории абсолютного движения $Z(X)$ частиц в равномерном воздушном потоке при режиме сепарации: u = 8 м/с, V_a = 20 м/с, β = 70°.

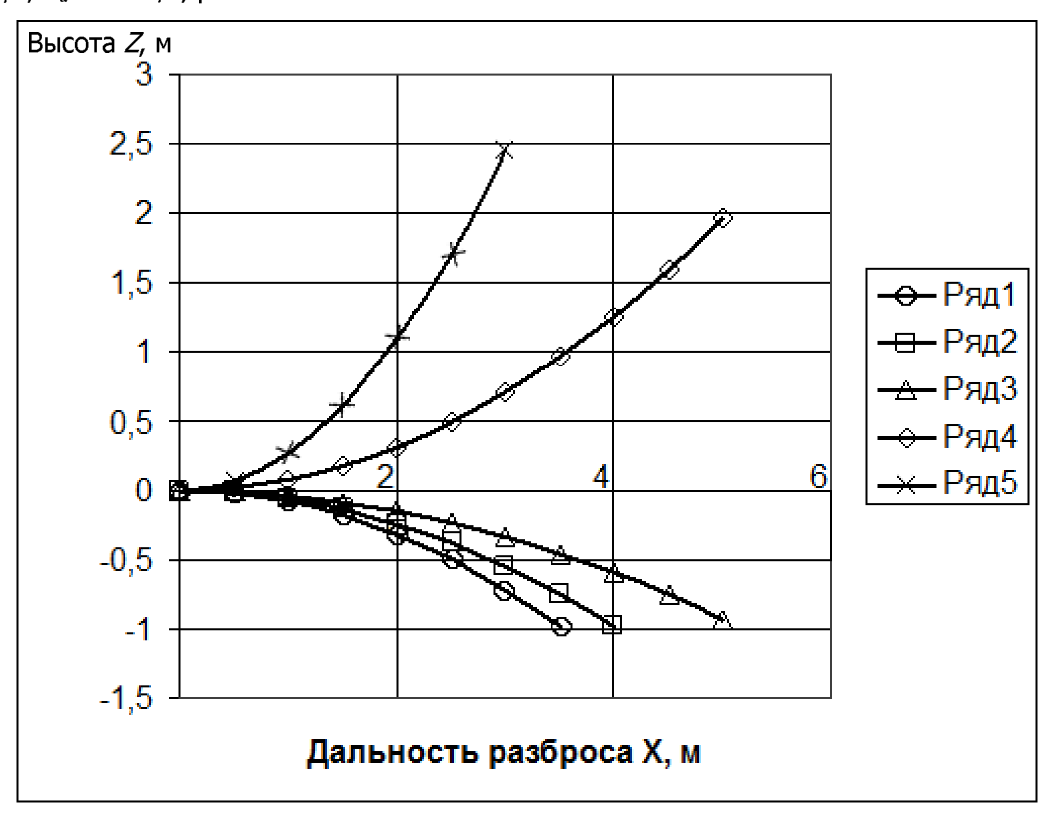


Рис. 4. Траектории движения соломистых частиц в воздушном потоке при центробежной сепарации. Длины фракций: ряд 1 — 250 мм; ряд 2 — 180 мм; ряд 3 — 100 мм; ряд 4 — 15 мм; ряд 5 — 5 мм

Результаты моделирования говорят о большой разнице в траекториях частиц лёгкой и тяжёлой фракций. Траектории отличаются так сильно, что можно говорить о сепарационных свойствах сочетания центробежного поля сил и воздушного потока.

Следует отметить быстротечность процесса сепарации. Время сепарации при скорости воздушного потока, принятой в пневмосепарирующих системах для многокомпонентного вороха, составляет по расчётам 0,1—0,3 с, что намного меньше, чем при сепарации на решётах. Следовательно, можно ожидать высокой производительности центробежного фракционирования.

Моделирование процесса разделения на фракции. Различия траекторий частиц различной массы и размеров в центробежном поле позволяют осуществлять разделение частиц длинностебельного материала. Разницу в дальности выброса самой лёгкой и тяжёлой частиц следует считать мерой фракционных свойств центробежной установки.

Процесс разделения разлетающихся частиц по фракциям осуществляется разделительными цилиндрами. Входные параметры — гранулометрический состав, радиусы сепарирующих цилиндров, высота кольцевых зазоров. Выходные — гранулометрический состав в каждом кольцевом зазоре. Зависимость между ними описывается методами статистики при помощи гистограмм и является наиболее информативным показателем фракционных свойств установки. Однако получение таких показателей достаточно трудоёмко.

Более наглядным для практики показателем является толщина потока. Величина толщины потока равна расстоянию между точками пересечения крайних траекторий с наклонной образующей конической поверхности разделителей. Угол наклона рекомендуется принимать 30 градусов.

Толщина потока увеличивается с увеличением диаметров конуса разделителя. Однако минимальный радиус, определяющий начало образующей конуса, не должен превышать дальность полёта самой тяжёлой фракции на уровне условного пола.

Проведённые расчёты по структурным моделям в среде Simulink показали, что при изменении длины соломистых частиц от 250 до 100 мм дальность полёта фракции составляет примерно 1,5 высоты диска над уровнем условного пола. Этого позволяет делать окна разделительных конусов достаточно большими, чтобы избежать забивания. Устанавливая разделительные перегородки через 300 мм, можно легко получать необходимое разделение на 3 фракции, что в большинстве случаев вполне приемлемо для практики.

Выводы. Результаты моделирования разброса частиц свидетельствуют о принципиальной возможности реализации процесса фракционирования длинностебельных материалов центробежным бесситовым разбрасывающим рабочим органом.

Библиографический список

1. Московский, М. Н. Вопросы экономического применения соломистой подстилки в ПТФ в условиях ЮФО / М. Н. Московский, А. Д. Гришков, А. В. Погорелов: мат-лы междунар. научн.-практ. конф. 4—5 марта 2010 г., Ростов-на-Дону, 2010. — С. 346—350.

2. Теория, конструкция и расчёт сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой и др. — Москва: Машиностроение, 1977. — 568 с.

Материал поступил в редакцию 08.04.2012.

References

1. Moskovskij, M. N. Voprosy` e`konomicheskogo primeneniya solomistoj podstilki v PTF v usloviyax YuFO / M. N. Moskovskij, A. D. Grishkov, A. V. Pogorelov: mat-ly` mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. 4—5 marta 2010 g., Rostov-na-Donu, 2010. — S. 346—350. — In Russian.

2. Teoriya, konstrukciya i raschyot sel`skoxozyajstvenny`x mashin / E. S. Bosoj i dr. — Moskva: Mashinostroenie, 1977. — 568 s. — In Russian.

CENTRIFUGAL FRACTIONATION OF LONG-STALKED MATERIALS

I. V. Ignatenko, A. V. Pogorelov

(Don State Technical University)

The screenless centrifugal fractionation approach is offered for the fractionation of the long-stalked agricultural materials lengthways. The screenless centrifugal fractionation device and its analytical model are described. The basic processes are specified – accelerating particles with the centrifugal disc, spreading in the annular aerodynamic channel, and assorting with the partitioning cylinders. The mathematical simulation of the particle acceleration with the centrifugal disc and the dropped particles motion in the unward airflow processes is carried out. The computer-based experiment is conducted. Paths of particles in the annular aerodynamic channel are obtained. The paths differ so greatly that it is possible to state the separating properties of the centrifugal force field and airflow combination. The recommendations on the arrangement of the partitioning cylinders are given. The simulation results imply the feasibility of assorting the long-stalked materials with the centrifugal tool at the cost of the differences in particle spreading paths in the airflow.

Keywords: *agricultural raw materials processing, centrifugal fractionation, air flow, mathematical simulation, computer-based experiment.*

УДК 62-83:621.865.8.005.571.11

Особенности формирования циклических режимов частотного электропривода технологических машин в зоне малой скорости движения исполнительного механизма

Н. Ф. Карнаухов, М. Н. Филимонов, А. И. Изюмов
(Донской государственный технический университет)

Для расширения возможности работы частотно-управляемого электропривода технологических машин в зоне пониженных и ползучих скоростей движения исполнительного механизма предложено ступенчатое изменение несущей частоты автономного инвертора напряжения. Введение двух-трёхкратной подмодуляции несущей частоты позволяет обеспечить ток статора асинхронного двигателя с коэффициентом несинусоидальности не ниже 4,3 %, что способствует равномерному движению исполнительного механизма и повышению точности его остановки в заданном положении (в зоне позиционирования).
Ключевые слова: *частотный электропривод, инвертор, асинхронный двигатель, исполнительный механизм, зона малой скорости, модулирование.*

Введение. Разработка и создание современных технологических машин (ТМ), включая промышленные роботы (ПР), базируются на согласованной взаимосвязи компонентов: механических, электрических, информационных, в целом определяющих технические характеристики и работоспособность ТМ [1]. В этой связи широкое применение частотно-управляемого асинхронного электропривода (ЧУАЭП→ЭП) в ТМ с малой скоростью перемещения исполнительного механизма (ИМ) или рабочего органа (РО ПР) в режиме позиционирования затруднено из-за сложности согласования энергетических и механических характеристик ЭП с характеристиками ТМ при формировании движения ИМ в зонах малых и ползучих скоростей [2, 3]. Известно [4], что в системе «автономный инвертор напряжения (АИН) — асинхронный двигатель (АД)» (АИН — АД) в зоне малых скоростей появляются пульсирующие моменты на валу АД, ведущие к неравномерности движения ИМ и усложняющие процесс его позиционирования. Указанный недостаток обусловлен несинусоидальностью выходного напряжения АИН [4], ведущей к формированию в обмотках статора гармонических составляющих токов низкой частоты (0,1—10 Гц), сопровождаемых повышенными потерями электроэнергии в силовом контуре АИН — АД в режимах пуск — торможение АД при значительном числе повторных включений. К тому же в настоящее время наблюдается тенденция роста числа программируемых координат ТМ с ЧПУ — как с аналоговым, так и цифровым управлением, характеризуемых повышенными скоростями рабочих подач (более 15 м/мин при дискретности 0,5 мкм) и ускорениями перемещений ИМ до 0,5—0,8 g. Поэтому решение задачи повышения равномерности перемещения и стабильности позиционирования ИМ (при сохранении энергосберегающих режимов работы ЧУАЭП) является важнейшим ориентиром при проектировании ТМ, способных работать с заданными характеристиками в зоне низких и ползучих скоростей движения ИМ.

Постановка задачи исследования. С развитием мультипроцессорных систем управления (МСУ) ТМ [1, 5] по каждой координате перемещения ИМ можно задавать индивидуальные законы разгона и торможения АД, обеспечивающие целесообразное согласование силовых характеристик ЭП и механической системы ТМ. Для уменьшения динамических нагрузок на звенья ТМ в режимах разгон — торможение АД изменение скорости исполнительного механизма $V_{им}$ (рис. 1) желательно осуществлять в соответствии с приведённой аппроксимированной кривой [6], вписанной в аналитическую зависимость (пунктирная кривая Ж) и представленной в виде функции при положительных значениях x выражением

$$y = a \cdot x^{b} \cdot e^{cx} . \quad (1)$$

Если $c < 0$, $0 < b < 1$, то построенная функция в координатах $V_{им} = f(t)$ имеет экстремум в точке (А) и перегибы в точках (С и Д), а значения x определяются из выражения

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b}}{c}. \qquad (2)$$

При программном управлении ЭП для реализации таких режимов изменение $V_{им}$ желательно осуществлять (условно) по участкам 1—2—3—4—5—6—7 аппроксимированной кривой. Наклон отдельных участков формируется МСУ [7] и возможностями ЭП по обеспечению предельных изменений скорости (ускорения) с учётом динамических перегрузок звеньев ИМ.

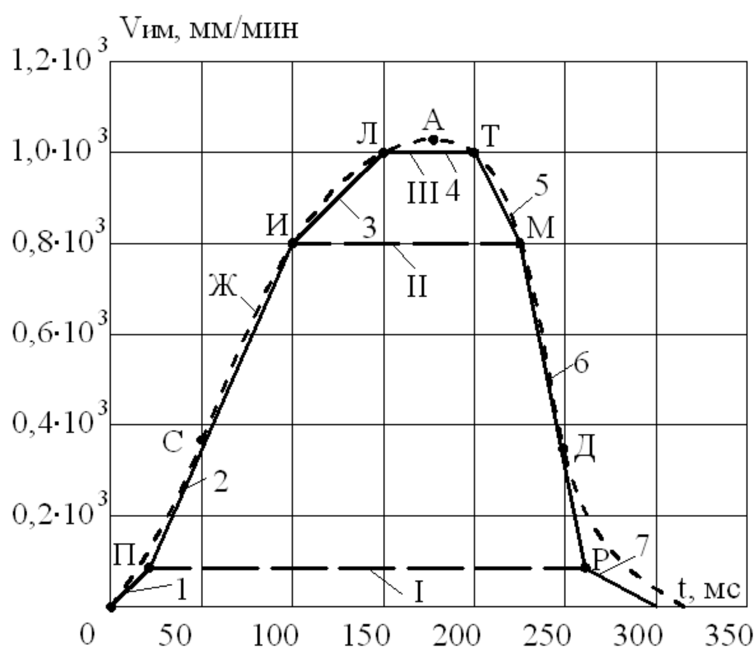


Рис. 1. Аппроксимированная кривая изменения скорости пускотормозных режимов движения ИМ ТМ

Предполагается, что участок 1 соответствует режиму движения ИМ с малым ускорением в процессе выбора зазоров в кинематической цепи; участок 2 — форсированию переходных процессов в режиме разгона АД с максимально допустимым ускорением; участок 3 — формированию пониженного ускорения перед выходом на установившуюся скорость (отрезок 4); 5 — подготовительному участку 6 по снижению скорости перед режимом управляемого двухтокового динамического торможения с учётом инерционности ИМ. Если на участках 2—6 формирование скорости не вызывает затруднений, то в зоне малой и ползучей скорости движения ИМ (участки 1, 7) управление ЭП требует особого подхода, поскольку в этой зоне АД переходит в режим неравномерного вращения, или шаговый режим, из-за появления пульсирующего момента на валу. К тому же при малой скорости движения ИМ проявляется неоднозначность кулоновского (сухого) трения в звеньях подвижности ИМ, что предопределяет непредсказуемость изменений суммарного выходного момента на валу АД и других параметров движения. Указанные факторы влияют на точность остановки ИМ ТМ [3, 7] с управляемыми приводами, а условия позиционирования ИМ значительно ухудшаются, например на участке 7. Известно также [4, 8], что в системе АИН — АД появление пульсаций электромагнитного момента обусловлено несинусоидальностью фазных токов статора АД на частотах 0,1—10 Гц. Поэтому участки 1 и 7 аппроксимируемой кривой могут характеризовать эффективность работы системы АИН — АД в процессе разгона — торможения АД в области малой скорости перемещения ИМ, как по обеспечению точности позиционирования при торможении, так и по минимуму электрических потерь от гармонических составляющих тока статора АД. Для снижения уровня гармоник выходного напряжения АИН и снижения потерь в АД предложен

ряд технических решений [5, 8] — в частности использование широтно-импульсной модуляции (ШИМ), пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (ПВ ШИМ или ПВМ) с повышенной частотой несущей [9]. Однако эти решения не позволяют получить синусоидальное напряжение на выходе АИН при низких частотах тока статора, уменьшить статические и динамические потери: электрические и магнитные потери в АД, модуляционные потери (в переключающих устройствах АИН при частоте модуляции до 20 кГц) в процессе формирования пускотормозных режимов работы ЧУЭП в зоне малых и ползучих скоростей движения ИМ ТМ.

Методы решения проблемы. По мнению авторов, улучшить показатели ЧУЭП в пускотормозных режимах можно путём организации алгоритма формирования выходного напряжения АИН [2], обеспечивающего коэффициент несинусоидальности фазного напряжения (тока) АД менее 5 % в предполагаемом диапазоне изменения частоты тока статора от 0,1 до 70 Гц (при сохранении показателя качества электроэнергии (ПКЭ) в соответствии с ГОСТ 13109-87). Решение такой задачи получено на базе ПВ ШИМ (рис. 2, а) с восемью базисными векторами (два из которых 000 и 111 — нулевые, а остальные сдвинуты в пространстве на 60° эл.), что позволяет воспроизвести необходимый вектор выходного напряжения АИН, используя алгоритмический приём без изменения силовой схемы инвертора [5, 8]. Коммутация ключевых элементов АИН производится с учётом ступенчатого изменения частоты модуляции (несущей) в особых точках перехода (точки П, И, Л — при разгоне; точки Т, М, Р — при торможении) в процессе работы ЧУЭП в зоне от малых до максимальных скоростей $V_{им\ макс}$ движения ИМ (см. рис. 1). В этом случае в алгоритме ПВ ШИМ необходимо соблюдать как длительность реализации состояния (комбинации ключей фаз), так и последовательность ($C_п$) переходов между состояниями АИН на периоде модуляции [5]. Причём программно-перенастраиваемое значение частоты модуляции (несущей) в алгоритме изменяется ступенчато и обратно пропорционально скорости движения ИМ в зависимости от технологических требований к ЧУАЭП и необходимости обеспечения желаемых механических характеристик и режимов работы АД. При этом диапазон регулируемых частот тока фазы АД условно делится на три программно-изменяемых интервала — соответственно участкам разгон — торможение ЭП (см. рис. 1):

I (0,1—2,5 Гц) — для участка 1;
II (2,5—15 Гц) — для участка 2;
III (15—70 Гц) — для участка 3.

В качестве несущих частот для каждого интервала формирования выходного напряжения АИН приняты расчётные значения соответственно:

I — 16416 Гц,
II — 8208 Гц,
III — 4104 Гц.

В нижнем интервале частот (0,1—2,5 Гц) формируемого тока фазы АД имеет место тяжёлый режим работы ключей АИН (с частотой переключения 16416 Гц). Средний — облегчённый режим формирования частоты тока (2,5—15 Гц) и верхний — номинальный режим (15—70 Гц) реализуются при работе ключевых элементов АИН при частотах модуляции 8208 и 4104 Гц соответственно.

Для выбора частоты модуляции предварительно определяются временные составляющие (доли μ_i) от периода модуляции T [5], в течение которых возможна реализация каждого из трёх состояний АИН. С учётом минимального числа коммутаций ключевых элементов и принятой последовательности ($C_п$) формирование положения вектора $U_ф$ (например, вектора 3 в зоне симплекса I — среднего напряжения на фазе, рис. 2, б, можно записать через долевые временные составляющие μ_i в виде $\mu_{01} \to T_1 \to T_2$, $\mu_{02} \to T_2 \to T_1$ [5]. Здесь μ_{01} и μ_{02} — доли времени реализации состояния АИН (000) и (111), что соответствует нулевому напряжению двух различных состояний; T_1 и T_2 — временные реализации векторов напряжения соответственно 001 и 101. Вре-

менные реализации (μ_{01}, $\mu_{02} = T_0 \approx 2$—4 мкс для упрощённого цикла переключений с учётом мёртвого времени [10] для управления верхними и нижними ключами АИН) накладывают повышенные требования к быстродействию применяемых вычислительных средств и драйверов управления ключевыми элементами. Без учёта указанных реализаций использование силовых полупроводниковых приборов (СПП) — например, IGBT, MCT, GTO — и их разновидностей затруднительно из-за ограничения технических возможностей МСУ по исполнению фактического алгоритма управления ЧУЭП [6]. С формированием синусоидального напряжения на выходе АИН [8, 9] исключаются пульсации электромагнитного момента на валу АД, что важно для формирования зоны управления малых и ползучих скоростей движения ИМ, когда обеспечивается плавное движение ИМ к точке остановки без пульсирующих моментов на валу АД. Реализация тяжёлого режима работы ключевых элементов (при частотах 0,1—10 Гц) — кратковременная и составляет не более 5 % от времени разгона или торможения АД. Причём в процессе реализации алгоритма среднее напряжение на фазе АД лежит внутри шестиугольника, образованного векторами 001, 101, 100, 110, 010, 011 и в пределах сформированных симплексов, обозначенных цифрами I, II, III, IV, V, VI (см. рис. 2, а). Алгоритм формирования выходного напряжения АИН построен таким образом, что изменение несущей частоты осуществляется для каждого интервала в особых точках перехода кратно 6 и степеням 2, что можно записать в виде

$$V = 6 \cdot 2^a, \qquad (3)$$

где V — число векторов, a — показатель степени (a = 0, 1, 2, 3, 4 …).

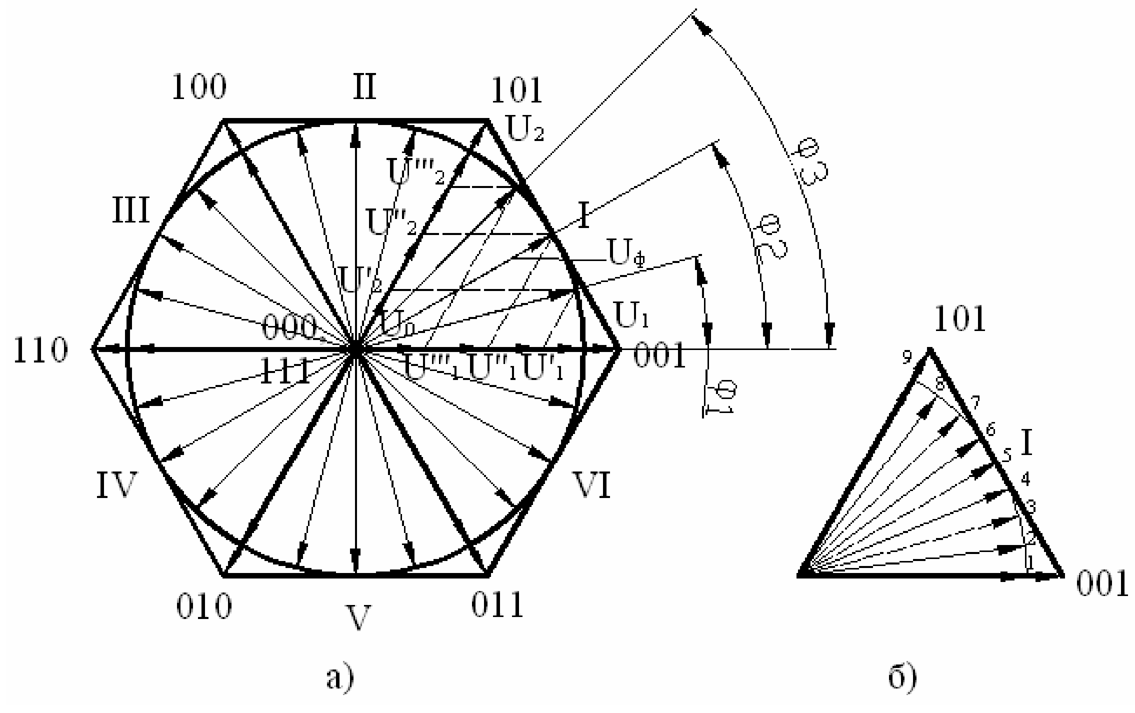


Рис. 2. Формирование фазного напряжения посредством составляющих векторов в зоне симплекса

Кратность 6 обеспечивает одинаковое целое число формируемых векторов напряжения для каждого симплекса, когда нулевые векторы не используются, а годограф (симплекс) вектора результирующего напряжения представляет собой шестиугольник (см. рис. 2, а), описанный вокруг базисных векторов. Причём кратность степеням 2 позволяет изменять частоту модуляции в точках перехода от одного частотного интервала к другому посредством формирования векторов выходного напряжения через 1 (т. е. фактическим изменением частоты модуляции в 2 раза) с последующим увеличением частоты формируемого выходного напряжения АИН согласно кривой разгона АД. Так, если формируется вектор 2 (см. рис. 2, б), то при изменении частоты модуляции

следующим должен формироваться вектор 4, а не 3. При торможении программно создаётся аналогичная ситуация только при переходе от одного интервала к другому. Смена формирования векторов происходит от режима формирования через 1 к режиму формирования без пропусков. Такой подход позволяет уменьшить машинное время расчёта длительностей T_1, T_2, T_0 (базовых комбинаций векторов) для формирования текущего вектора напряжения при переходе на новую частоту модуляции и использовать уже ранее рассчитанные значения для следующего шага в работе алгоритма. При формировании вектора напряжения согласно методу ПВМ (см. рис. 2, а) используется следующая последовательность перебора базовых векторов с указанием времени нахождения ключей в комбинации, соответствующей базовому вектору:

$$U_1\,(T_1/2) \to U_2\,(T_2/2) \to U_0\,(T_0) \to U_2\,(T_2/2) \to U_1\,(T_1/2). \quad (4)$$

Для обеспечения симметрии формируемого выходного напряжения АИН в зоне чётного симплекса (II, IV, VI) последовательность переключений ключевых элементов изменяется и приводится к виду

$$U_2\,(T_2/2) \to U_1\,(T_1/2) \to U_0\,(T_0) \to U_1\,(T_1/2) \to U_2\,(T_2/2). \quad (5)$$

При ступенчатой смене несущей частоты в диапазоне интервала происходит изменение количества векторов формируемого напряжения в пределах симплекса:

— при разгоне ЭП (см. рис. 1) на участке 1 (от точки 0 до П) → 48; на участке 2 (от П до И) → 24; на участке 3 (от И до Л) → 12, а на участке 4 (от Л до Р) соответственно → 6;

— при торможении изменение векторов обратное, т. е. 6→12→24→48.

При изменении частоты выходного напряжения на одну дискрету формируемым вектором является следующий ближайший вектор (по ходу вращения к текущему), рассчитанный для нового значения частоты напряжения $U_ф$, что позволяет сохранить целое и одинаковое число формируемых векторов в пределах всех симплексов и симметрию формируемого выходного напряжения АИН. При смене частот в пределах интервала и частоты модуляции формирование нового вектора происходит в момент, когда ключи инвертора находятся в комбинации, соответствующей базовому вектору U_1, т. е. в конце или в начале цикла формирования предыдущего вектора. Если новый вектор формируется в момент комбинации, соответствующей векторам U'_2 или U_0, то мгновенное напряжение для текущего вектора может в два раза и более отличаться от модуля вектора 3 (например, U'''_2 модуль вектора U'''_1 в 3 раза меньше модуля формируемого вектора 4), а сам вектор может иметь отставание на угол φ_2 от заданного вектора и на угол φ_3 — от вектора U'''_2 (см. рис. 2, а). Такая комбинация сопровождается двойным скачком напряжения на выходе АИН, ухудшением синусоидальности формируемого напряжения, ростом коэффициента гармоник. Применение изменённой последовательности переключений по выражению (5) с частотной подмодуляцией составляющих векторов позволяет уменьшить коэффициент гармоник выходного напряжения АИН. При этом произвольный вектор 2 (см. рис. 2 а, б) формируется составляющими компонентами U'_1 и U'_2 двух базовых векторов U_1 и U_2 (соответственно и нулевого вектора U_0) по алгоритму переключения ключевых элементов

$$001\,(T_1) \to 101\,(T_2) \to 000\,(T_0) \quad (6)$$

с периодом модуляции T_C, определяемым суммой составляющих

$$T_C = T_1 + T_2 + T_0. \quad (7)$$

На рис. 3, а двойной штриховкой отмечена сформированная векторами U'_1, U'_2, U_0 соответственно алгоритму (4) область, площадь которой характеризует условно временные затраты на формирование желаемой величины вектора напряжения U_D как геометрическую сумму векторов U'_1, U'_2, U_0 на выходе АИН, определяемую составляющими времени состояния комбинации. Изменение алгоритма (4) с дроблением времени состояния комбинации базовых векторов на число шагов в виде

$$N_d = 2(n + 1), \quad (8)$$

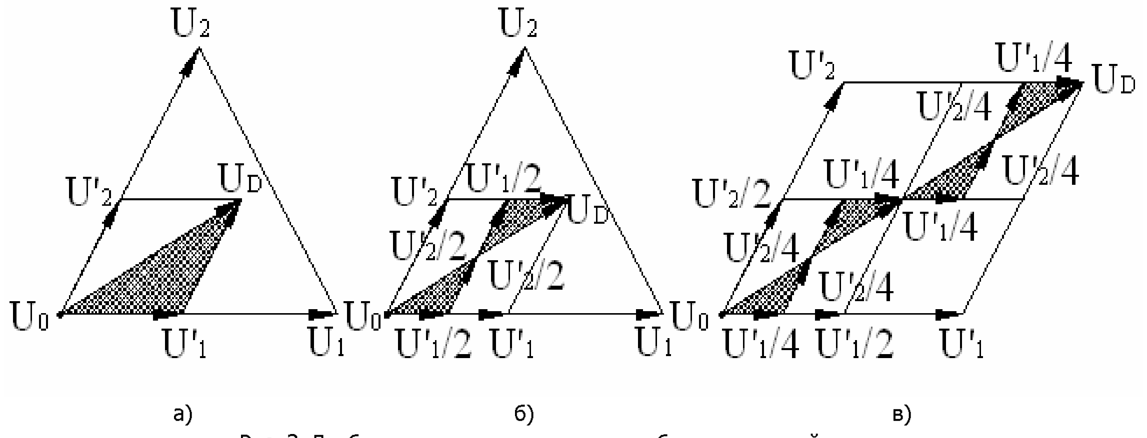
где n — порядковый номер шага, n = 0, 1, 2, 3 и т. д. при формировании векторов 001, 101, представляемых как

$$T_{id} = T_i \,/\, N_d, \qquad (9)$$

где T_{id} — время состояния комбинации при дроблении, N_d — кратность дробления шага, равная 2, 4 ... N,

позволяет составить целесообразную временную комбинацию состояния ключевых элементов (для N_d = 2) и записать алгоритм переключения (ключей АИН) в виде

$$001\ (T_1/2) \to 101\ (T_2/2) \to 000\ (T_0) \to 101\ (T_2/2) \to 001\ (T_1/2), \qquad (10)$$



а) б) в)

Рис. 3. Дробление времени состояния комбинации ключей на шаги

Таким образом, результирующий вектор напряжения U_D на выходе АИН формируется по (10) в виде геометрической суммы векторов $U'_1/2+U'_2/2+U_0+U'_2/2+U'_1/2$ (см. рис. 3, б). При этом площадь заштрихованной области, характеризующая формируемый вектор напряжения желаемого уровня U_D с изменённой продолжительностью временной комбинации, в два раза меньше, чем площадь заштрихованной области на рис. 3, а. Равенство амплитуд векторов напряжения U_D по алгоритму (4) и алгоритму (10) с дроблением шага на 2 обеспечивается, а во втором случае — сопровождается (за счёт уменьшения амплитуд составляющих временных параметров) снижением уровней гармонических составляющих результирующего тока фазы АД. При этом алгоритм (10) можно рассматривать как сумму двух алгоритмов прямой и обратной последовательностей работы ключей с уменьшенными в 2 раза продолжительностями времени комбинаций T_1, T_2, T_0, что эквивалентно двукратному увеличению частоты модуляции (подмодуляции) при неизменном числе составляющих векторов за один период формирования $U_ф$. Аналогично можно представить геометрическую сумму векторов на нулевом шаге дробления с учётом соотношения (10), что соответствует алгоритму

$$001\ (T_1/4) \to 101\ (T_2/4) \to 000\ (T_0/2) \to 101\ (T_2/4) \to 001\ (T_1/4) \to 001\ (T_1/4) \to$$
$$101\ (T_2/4) \to 000\ (T_0/2) \to 101\ (T_2/4) \to 001\ (T_1/4). \qquad (11)$$

Тогда результирующий вектор напряжения $U_ф$ (см. рис. 3, в) на выходе АИН можно представить в виде

$$U'_1/4+U'_2/4+U_0/2+U'_2/4+U'_1/4+U'_1/4+U'_2/4+U_0/2+U'_2/4+U'_1/4, \qquad (12)$$

что подтверждает уменьшение времени работы ключевых элементов в процессе формирования вектора желаемого значения $U_D \to U_ф$. В этом случае площадь заштрихованной фигуры (см. рис. 3, в) меньше в 2 раза в сравнении с аналогичной при реализации алгоритма (10) (см. рис. 3, б) и в 4 раза — в сопоставлении с алгоритмом (12), (см. рис. 3, а).

Поскольку вектор выходного напряжения U_D формируется как геометрическая сумма малых по амплитуде векторов напряжений при дроблении шага, то можно ожидать уменьшение амплитуд гармонических составляющих результирующего напряжения АИН с ростом числа шагов дробления n, снижение коэффициента несинусоидальности тока фазы АД при формировании напряжения (тока) по разработанным алгоритмам (10), (12). При этом частота подмодуляции исполнения алгоритма (10) увеличивается в 2 раза по сравнению с частотой модуляции при алгоритме (6) и в 4 раза — при алгоритме (12). Аналогично можно получить алгоритмы управления ключами АИН более 4-кратного увеличения частоты подмодуляции при формировании напряжения $U_ф$, которое будет характеризоваться малой величиной отклонений от напряжения синусоидальной формы. Естественно, формирование напряжения $U_ф$ по (12) с учётом переходов в режимы подмодуляции связано со значительным объёмом обработки информации МСУ в реальном времени по приведённым алгоритмам и возможно с применением разработанного аппаратно-программного комплекса (АПК, рис. 4).

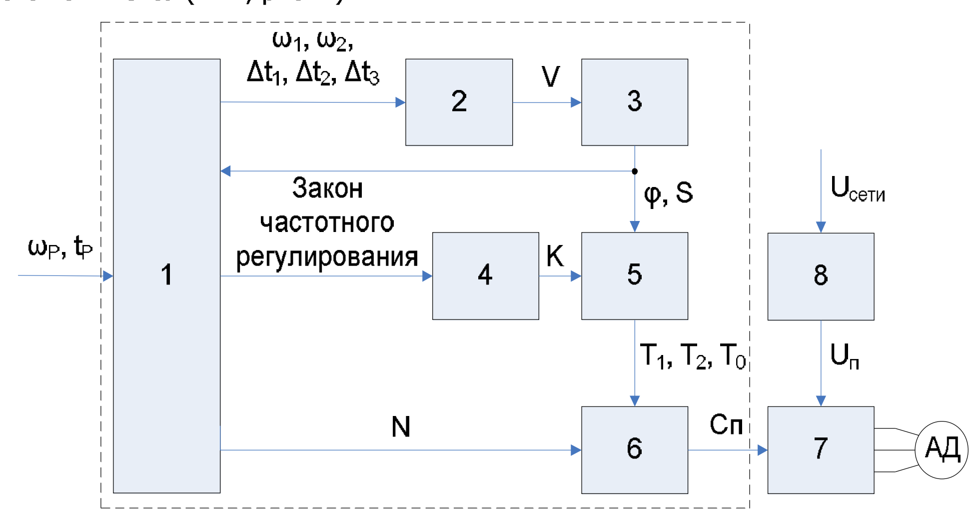


Рис. 4. Функциональная схема аппаратно-программного комплекса

Блок 1 (см. рис. 4) предназначен для вычисления текущих значений времени процесса t, интервала квантования по времени Δt, угловой скорости вращения ω поля статора АД, номера симлекса S и угла φ формируемого вектора $U_ф$. Блок также осуществляет расчёт значений угловых скоростей ω_1 и ω_2 для конечных точек П и И участков 1 и 2 соответственно на кривой изменения скорости при разгоне — торможении (см. рис. 1) и выбор частоты модуляции напряжения $U_ф$ в зависимости от интервала (I, II, III). Блок 2 рассчитывает необходимое количество векторов V напряжения $U_ф$ на выходе инвертора, а блок 3 выполняет расчёты текущего угла φ формируемого вектора напряжения $U_ф$ и номер симплекса S. Блок 4 вычисляет значение коэффициента напряжения K (для заданного закона частотного регулирования скорости вращения ротора АД), который определяется требуемым соотношением между действующим значением и частотой выходного напряжения инвертора, исходя из выражения

$$K = f(U, f), \qquad (13)$$

где U — действующее значение выходного напряжения инвертора, f — частота выходного напряжения.

Для случая постоянства статического момента на валу АД можно положить, что

$$K = U/f = \text{const}. \qquad (14)$$

Блок 5 содержит таблицу 1 расчётных значений (φ, K, S, m_1, m_2), временные параметры T_1, T_2, T_0 состояний ключей АИН, соответствующие базовым векторам, рассчитанные для максимального

значения $V_{МАХ}$ формируемых векторов $U_ф$. Длительности $T_1 = T_{1H}$, $T_2 = T_{2H}$, $T_0 = T_{0H}$ определяются для номинального режима работы двигателя ($K = 1$) по выражениям вида

$$T_{1H} = \frac{2 \cdot п}{6 \cdot V_{МАХ} \cdot \omega_H} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \sin\left(\frac{п}{3} - \phi\right),$$

$$T_{2H} = \frac{2 \cdot п}{6 \cdot V_{МАХ} \cdot \omega_H} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \sin\phi, \qquad (15)$$

$$T_{0H} = \frac{2 \cdot п}{6 \cdot V_{МАХ} \cdot \omega_H} - (T_{1H} + T_{2Н}),$$

где ω_H — номинальная угловая скорость вращения поля статора, φ — угол формируемого вектора $U_ф$; V_{MAX} — максимальное количество формируемых векторов напряжения $U_ф$.

По известным значениям коэффициента напряжения K, текущего угла φ формируемого вектора $U_ф$ и номера симплекса S блок 5 осуществляет расчёт текущих значений T_1, T_2, T_0 состояний ключей инвертора по выражениям:

$$T_1 = K \cdot \sum_{i=1}^{m} T_{1Hi},$$

$$T_2 = K \cdot \sum_{i=1}^{m} T_{2Hi}, \qquad (16)$$

$$T_0 = K \cdot \sum_{i=1}^{m} T_{0Hi},$$

где $m = m_2 - m_1$ — разность между порядковым номером текущего и предшествующего вектора (таблица 1).

Таблица 1

Расчётные параметры для формирования напряжения $U_ф$

№ вектора	T_{1H}	T_{2H}	T_{0H}
1	значение	значение	значение
2	значение	значение	значение
…			
m_1	значение	значение	значение
…			
m_2	значение	значение	значение
…			
$V_{МАХ}$	значение	значение	значение

Таблица 1 является замкнутой, т. е. после вектора под номером $V_{МАХ}$ снова идут векторы 1, 2, 3 и т. д. Блок 6 по текущим значениям N количества циклов принятой подмодуляции и длительностей T_1, T_2, T_0 состояний ключей инвертора формирует коммутирующую функцию ($C_п$) в виде последовательности импульсов, поступающих на входы 7 АИН. Для Т = 2 функция ($C_п$) будет соответствовать алгоритму (10). В схеме источник постоянного напряжения (8) служит для преобразования переменного напряжения $U_{сети}$ в постоянное напряжение $U_п$ для питания АИН (см. рис. 4).

Для оценки искомого отклонения — несинусоидальности сформированного АИН тока фазы статора за один период предложена математическая модель фазы АД, поведение которой исследовано при поступлении на вход импульсных последовательностей, определённых соответственно приведённым алгоритмам. При некотором упрощении математическую модель фазы АД можно представить в виде дифференциального уравнения

$$T_Э \frac{dI}{dt} + I = \frac{1}{R_Э} U(t), \qquad (17)$$

где $T_Э = L_Э/R_Э$ — эквивалентная постоянная времени фазы, обусловленная эквивалентной индуктивностью $L_Э$ фазы обмотки статора АД и эквивалентным активным сопротивлением фазы $R_Э$; I — ток фазы; $U(t)$ — напряжение питания фазы АД, формируемое на выходе АИН.

Решение уравнения (17) для конкретных значений $U(t)$, соответствующих алгоритмам формирования $U_ф$ с различным числом формируемых векторов и значений частоты дополнительной модуляции (подмодуляции), позволило получить расчётные значения токов I фазы. По этим значениям токов I была определена величина отклонения ΔI тока фазы от синусоидального по критерию [5]:

$$\Delta I = \int_0^T (I - Is)^2 \, dt, \qquad (18)$$

где T — период формирования тока фазы АД, $Is = I_m \cdot \sin(\omega t)$ — желаемый синусоидальный ток, I_m — амплитуда первой гармоники тока фазы АД, $\omega = 2п/T$ — частота тока фазы АД.

Результаты расчёта отклонений ΔI для алгоритмов с шестью, двенадцатью, двадцатью четырьмя векторами, формируемыми за период напряжения с учётом 1-, 2-, 3-, 4-кратной подмодуляции, представлены на рис. 5 в относительных единицах. Причём за 1 принято значение ΔI при алгоритме формирования $U_ф$ с шестью векторами и 1-кратной модуляции частоты 50 Гц, т. е. без подмодуляции. На рис. 5 линия 1 соответствует значениям ΔI при алгоритме формирования $U_ф$ с шестью векторами, линия 2 — с двенадцатью векторами, линия 3 — с двадцатью четырьмя векторами и кратности частоты подмодуляции $N = 1...4$. Анализ полученных зависимостей позволяет констатировать, что:

— с увеличением количества векторов за один период формирования $U_ф$ АИН и частоты подмодуляции величина отклонения ΔI тока уменьшается;

— минимальное значение отклонения ΔI равное 0,4 (в относительных единицах) наблюдается для алгоритма с двадцатью четырьмя векторами и 4-кратной частотой подмодуляции.

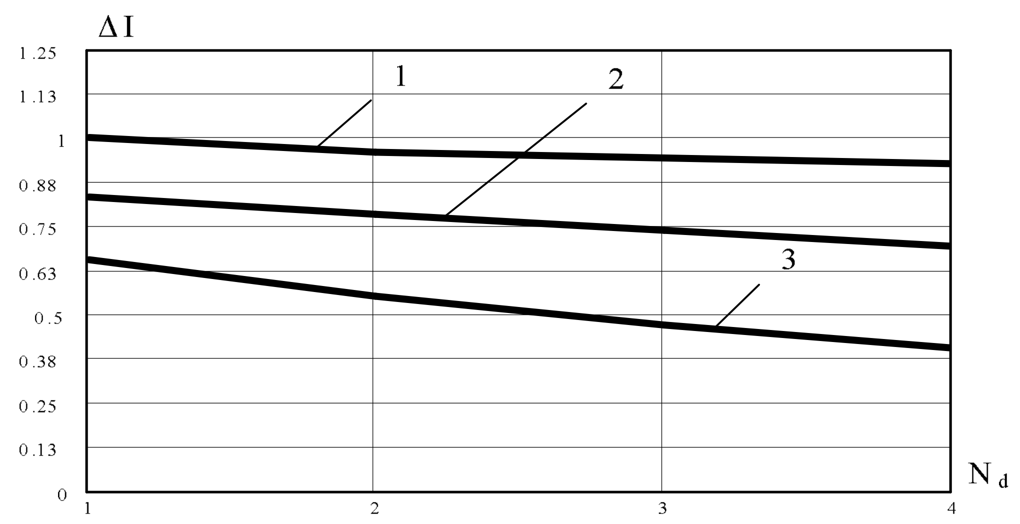


Рис. 5. Зависимости отклонений сформированного тока АИН для различных алгоритмов и кратности частоты подмодуляции

Следовательно, применение принципа подмодуляции позволяет улучшить качество напряжения $U_ф$ без увеличения количества формируемых векторов, что выражается в уменьшении амплитуд гармоник тока статора и приближении формируемого тока фазы АД к синусоидальному (с отклонениями не более 4,3 %). Данные подтверждены в результате экспериментальных

исследований АИН в системе АИН — АД на частотах 0,1—10 Гц тока статора АД мощностью 0,075 кВт в электроприводе ПР.

Выводы. Для уменьшения динамических нагрузок, обеспечения ресурсосберегающих режимов в работе ЧУАЭП при пониженных скоростях движения ИМ ТМ целесообразно:

— управление АД выполнять с учётом приведённой аппроксимированной кривой скорости, где формирование участков выполняется программно по интервалам ступенчатого изменения несущей частоты АИН;

— осуществлять формирование синусоидального напряжения АИН с использованием подмодуляции (по разработанным алгоритмам) для обеспечения приемлемой равномерности движения ИМ в зоне малых и ползучих скоростей;

— с целью уменьшения электрических потерь в силовом контуре АИН — АД коэффициент несинусоидальности сформированного напряжения АИН не должен превышать 5 % при частотах (0,1—10 Гц) тока статора АД.

Библиографический список

1. Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ / Э. Л. Тихомиров [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1990. — 320 с.

2. Карнаухов, Н. Ф. Асинхронный привод механизмов малых перемещений / Н. Ф. Карнаухов, М. Н. Филимонов, С. А. Ушаков // Новые технологии управления движением технических объектов: мат-лы 4-й Междунар. науч.-техн. конф. — Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. — Т. 1. — 133 с.

3. Карнаухов, Н. Ф. Улучшение характеристик частотного электропривода технологических машин в зоне малой скорости движения исполнительного механизма / Н. Ф. Карнаухов, Ю. В. Пудова, М. Н. Филимонов // Молодёжь. Техника. Космос: труды IV Общерос. молодёж. науч.-техн. конф. — Вестник БГТУ. — 2012. — № 15. — 380 с.

4. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. — Москва: Академия, 2004. — 256 с.

5. Изосимов, Д. Б. Алгоритмы и системы цифрового управления электроприводами переменного тока / Д. Б. Изосимов, В. Ф. Козаченко // Электротехника. — 1999. — № 4. — С. 41—54.

6. Ратмиров, В. А. Управление станками гибких производственных систем / В. А. Ратмиров. — Москва: Машиностроение, 1987. — 272 с.

7. Поздеев, А. Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах / А. Д. Поздеев. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.

8. Установка для демонстрации рекламно-информационного материала и устройство управления перемещением носителя информации: патент № 36914 Рос. Федерация / Н. Ф. Карнаухов, М. Н. Филимонов, С. А. Ушаков. — Опубл. 27.03. 2004, Бюл. № 9.

9. Колпахчьян, П. Г. Адаптивное управление асинхронным тяговым приводом магистральных электровозов / П. Г. Колпахчьян. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион». — 2006. — 131 с.

10. Воронин, П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — Москва: Додэка- XXI, 2005. — 384 с.

Материал поступил в редакцию 05.07.2012.

References

1. Mikroprocessornoe upravlenie e`lektroprivodami stankov s ChPU / E`. L. Tixomirov [i dr.]. — Moskva: Mashinostroenie, 1990. — 320 s. — In Russian.

2. Karnauxov, N. F. Asinxronny`j privod mexanizmov maly`x peremeshhenij / N. F. Karnauxov, M. N. Filimonov, S. A. Ushakov // Novy`e texnologii upravleniya dvizheniem texnicheskix ob``ektov: mat-ly` 4-j Mezhdunar. nauch.-texn. konf. — Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNCz VSh, 2001. — T. 1. — 133 s. — In Russian.

3. Karnauxov, N. F. Uluchshenie xarakteristik chastotnogo e`lektroprivoda texnologicheskix mashin v zone maloj skorosti dvizheniya ispolnitel`nogo mexanizma / N. F. Karnauxov, Yu. V. Pudova, M. N. Filimonov // Molodyozh`. Texnika. Kosmos: trudy` IV Obshheros. molodyozh. nauch.-texn. konf. — Vestnik BGTU. — 2012. — № 15. — 380 s. — In Russian.

4. Braslavskij, I. Ya. E`nergosberegayushhij asinxronny`j e`lektroprivod / I. Ya. Braslavskij, Z. Sh. Ishmatov, V. N. Polyakov. — Moskva: Akademiya, 2004. — 256 s. — In Russian.

5. Izosimov, D. B. Algoritmy` i sistemy` cifrovogo upravleniya e`lektroprivodami peremennogo toka / D. B. Izosimov, V. F. Kozachenko // E`lektrotexnika. — 1999. — № 4. — S. 41—54. — In Russian.

6. Ratmirov, V. A. Upravlenie stankami gibkix proizvodstvenny`x sistem / V. A. Ratmirov. — Moskva: Mashinostroenie, 1987. — 272 s. — In Russian.

7. Pozdeev, A. D. E`lektromagnitny`e i e`lektromexanicheskie processy` v chastotnoreguliruemy`x asinxronny`x e`lektroprivodax / A. D. Pozdeev. — Cheboksary`: Izd-vo Chuvash. un-ta, 1998. — 172 s. — In Russian.

8. Ustanovka dlya demonstracii reklamno-informacionnogo materiala i ustrojstvo upravleniya peremeshheniem nositelya informacii: patent № 36914 Ros. Federaciya / N. F. Karnauxov, M. N. Filimonov, S. A. Ushakov. — Opubl. 27.03. 2004, Byul. № 9. — In Russian.

9. Kolpaxch`yan, P. G. Adaptivnoe upravlenie asinxronny`m tyagovy`m privodom magistral`ny`x e`lektrovozov / P. G. Kolpaxch`yan. — Rostov-na-Donu: Izd-vo «Izv. vuzov. Sev.-Kavk. Region». — 2006. — 131 s. — In Russian.

10. Voronin, P. A. Silovy`e poluprovodnikovy`e klyuchi: semejstva, xarakteristiki, pri-menenie / P. A. Voronin. — Moskva: Dode`ka- XXI, 2005. — 384 s. — In Russian.

GENERATION FEATURES OF CYCLE OPERATIONS FOR PRODUCTION MACHINE VARIABLE-FREQUENCY DRIVE IN LOW-VELOCITY ZONE OF ACTUATOR

N. F. Karnaukhov, M. N. Filimonov, A. I. Izyumov
(Don State Technical University)

The step change of the autonomous voltage inverter carrier frequency is proposed for operating enhancement of the frequency-controlled electric drive of the production machines in the «retarted and creeping» motion speed area. The introduction of the double-triple carrier frequency «submodulation» allows providing the induction motor stator current with nonsinusoidality ratio at least 4,3 % which aids the steady motion of the actuator and accuracy increase of its stop block in the positioning zone.
Keywords: *variable-frequency drive, inverter, induction motor, actuator, low-velocity zone, modulation.*

УДК 681.3.681.5

Модифицированный алгоритм Романовского быстрого нахождения приближённого решения однородной распределительной задачи

Р. А. Нейдорф, А. А. Жикулин
(Донской государственный технический университет)

Разработана модификация алгоритма Романовского приближённого решения однородной распределительной задачи, обладающая низкими требованиями к ресурсам по сравнению с исходным алгоритмом. Описаны внесённые в оригинальный алгоритм изменения, которые позволяют обеспечить более эффективную процедуру формирования загрузки исполнителей заданиями. Приведены результаты вычислительных экспериментов.
Ключевые слова: *теория расписаний, однородная задача, минимаксный критерий, метод ветвей и границ, дерево вариантов.*

Введение. Исследования в области классической теории расписаний (КТР) сохраняют актуальность, несмотря на большое количество научно-исследовательских работ, посвящённых этой теме [1, 2]. Для КТР характерны два типа задач, существенно отличающиеся постановкой задачи и методами решения: однородные (ОРЗ) и неоднородные (НРЗ) распределительные задачи (РЗ). Несмотря на более упрощённую форму, ОРЗ принадлежат к классу NP-полных задач с показательным ростом сложности при увеличении размерности. Одной из наиболее популярных и перспективных тем исследований является разработка эффективных приближённых алгоритмов, обладающих высокой скоростью решения РЗ.

Постановка задачи. В связи со сформулированной во введении проблемой в данной работе ставится задача создания приближённого алгоритма решения ОРЗ, который бы обладал достаточно хорошими точностными свойствами при низких требованиях к ресурсам. Общая математическая модель постановки и решения ОРЗ, предложенная в работе [3], выглядит следующим образом. Рассматривается исполнительная система (ИС), состоящая из m идентичных, параллельно работающих исполнителей $E=\{e_1,\dots,e_m\}$. На вход ИС поступает множество n независимых заданий (работ) $W=\{w_1,\dots,w_n\}$, которые необходимо распределить между исполнителями. Известен ресурс выполнения каждого i-го задания r_i, и он одинаков для любого j-го исполнителя e_j. Таким образом, множеству W сопоставлено n-множество ресурсов $R=\{r_1,\dots,r_n\}$. Решением ОРЗ является множество $D^w=\{W_1,\dots,W_m\}$, в котором подмножества заданий $W_j=\{w_k \mid w_k\in W\}$ отвечают обязательному свойству:

$$\forall j,k\in[1,m]\rightarrow\bigcup_{j=1}^{m}W_j=W;\quad W_j\bigcap_{j\neq k}W_k=\varnothing .$$

Запланированная вариантом D^w загрузка заданиями каждого исполнителя e_j оценивается ресурсом R_j, где $R_j=\sum r_k;\ r_k : w_k\in W_j$. В результате решению ОРЗ в виде конкретного варианта D^w сопоставляется оценочное множество $D^r=\{R_1,\dots,R_m\}$. Для оценки решения РЗ формируется функция $Q^m\left[D^r\right]$, отражающая требования к свойствам этого решения. Например, максимальная по ресурсу загрузка одного из исполнителей

$$Q^m\left[D^r\right]=\max_R\left\{R_j \mid j=\overline{1,m}\right\} \tag{1}$$

представляет собой оценку ресурсоёмкости решения и считается наиболее эффективной среди функционалов, а если в качестве ресурса выступает время, то выражение (1) является оценкой производительности ИС.

При любом критерии наилучшим способом конкретизации и обеспечения эффективности решения является оптимизационный подход. Например, от оценки (1) целесообразно задаться условиями минимальности значения в окончательном её решении. Это порождает минимаксный критерий (ММК) оптимизации:

$$Q^{mm}\left[D^{r}\right]=\min_{E,W}\max_{R}\left\{R_{j} \mid j=\overline{1,m}\right\}.$$

Современные методы решения ОРЗ. Одним из подходов к решению поставленной задачи является разработка нового алгоритма решения РЗ на основе уже существующего метода путём его модификации с целью повышения его эффективности. Для решения ОРЗ зарубежными и российскими учёными разработано множество алгоритмов — как точных, так и приближённых. Наиболее известным и широко распространённым точным методом решения является алгоритм Романовского (АР), описанный и исследованный во многих источниках [4], [5]. Методологически АР принадлежит к классу методов «ветвей и границ», которые значительно снижают ресурс решения РЗ по сравнению с алгоритмом прямого перебора. Однако в худшем случае алгоритм осуществляет проверку всех возможных вариантов решений, что приводит к большим объёмам вычислений для нахождения оптимума. Таким образом, даже для задач невысокой размерности получение оптимального решения за приемлемое время становится невозможным. Несмотря на этот недостаток, АР обладает высокой скоростью сходимости к области решений, близких к абсолютному оптимуму, по сравнению с другими точными алгоритмами. Это обусловлено грамотным применением в АР механизма отсечения бесперспективных ветвей поиска. Поэтому, по мнению авторов, в качестве базового метода для создания эффективного приближённого алгоритма решения ОРЗ наиболее целесообразно использовать АР.

Алгоритм Романовского точного решения ОРЗ. АР заключается в последовательных попытках получения распределения заданий по исполнителям так, что загрузка каждого исполнителя не превышала максимально допустимой загрузки исполнителя z. Для выделения последующих z-задач используется итеративная формула

$$z_{k}=F_{z}\left(fa_{k-1},fb_{k-1}\right),$$

где fa — нижняя граница (оценка снизу) поиска, fb — верхняя граница (оценка сверху) поиска, F_{z} — функция изменения z, причём $z_{k}\in\left(fa_{k-1},fb_{k-1}\right)$, k — шаг итерации. Если на k-м шаге итерации z-задача имеет решение, то значение верхней границы изменяется, т. е. $fb_{k}=Q^{m}$, иначе изменяется значение нижней границы, т. е. $fa_{k}=z_{k}$.

В результате последовательного рассмотрения z-задач происходит уменьшение интервала поиска оптимального распределения, которое завершается при выполнении условия

$$fb_{k}=fa_{k}+1.$$

Для решения z-задач применяется метод ветвей и границ с односторонним обходом дерева вариантов. Если представить, что исполнители могут обеспечить ресурсами в количестве, равном z, то у ИС должно оставаться свободное количество ресурсов

$$\text{slack}=zm-\sum_{i=1}^{m}R_{i},$$

где z — количество ресурса у исполнителя, m — количество исполнителей, R_{i} — частичная загрузка исполнителей на определённом шаге алгоритма.

Задания назначаются исполнителям последовательно из списка заданий, в котором они упорядочены по уменьшению ресурса выполнения, таким образом, чтобы каждый раз назначалось задание с самым большим ресурсом выполнения. Назначение заданий продолжается при соблюдении условия

$$\text{slack} > 0 . \qquad (2)$$

Иначе необходимо произвести отмену назначения текущего задания и попытаться назначить другое. В худшем случае алгоритму требуется перебрать все варианты для получения решения.

Модифицированный АР (МАР) быстрого нахождения приближённого решения ОРЗ. Основным недостатком АР является высокая требовательность к ресурсам при определённых условиях ОРЗ, поскольку в худшем случае он осуществляет перебор всех возможных вариантов решений, что ведёт к большим объёмам вычислений. Это присуще всем алгоритмам, построенным по схеме методов «ветвей и границ». Таким образом, для увеличения быстродействия АР наиболее целесообразно изменить алгоритм решения *z*-задачи, а итеративный принцип выделения *z*-задачи оставить без изменения. Более того, с целью получения наибольшей производительности разрабатываемого алгоритма решение *z*-задачи необходимо осуществлять по оригинальной стратегии АР до тех пор, пока не будет осуществлена отмена назначения текущего задания. Это обусловлено тем, что АР довольно быстро сходится к области решений, близких к абсолютному оптимуму.

Поскольку для решения *z*-задачи АР осуществляет односторонний обход дерева всех возможных решений, то при неблагоприятных условиях ОРЗ будет осуществлён перебор большого количества вариантов. Поэтому необходимо изменить способ перебора распределений заданий по исполнителям с целью минимизации вариантов, рассматриваемых алгоритмом при поиске решения. Таким образом, авторами предлагается внести следующие изменения в оригинальный алгоритм решения *z*-задачи.

Во-первых, необходимо назначать задания каждому *j*-му исполнителю так, чтобы его загрузка R_j была максимальна для значения z. Таким образом, необходимо формировать набор заданий $W_j = \{w_k \mid w_k \in \overline{W}\}$, где $\overline{W}$ — множество ещё не назначенных исполнителям заданий с максимальным значением загрузки среди всех возможных комбинаций заданий из множества $\overline{W}$. Тогда как в АР исполнителю назначается первая рассмотренная комбинация заданий, удовлетворяющих условию (2). В отличие от оригинального алгоритма, в разрабатываемом алгоритме назначается такой набор заданий, который минимизирует дефицит загрузки исполнителя. По мнению авторов, этот эвристический подход позволит значительно быстрее достигать решения, удовлетворяющего z.

Во-вторых, если для исполнителя e_j не существует набора заданий $W_j = \{w_k \mid w_k \in \overline{W}\}$, который удовлетворяет условию (2), то алгоритм осуществляет процедуру отката не к предыдущему исполнителю e_{j-1}, как в АР, а к первому исполнителю e_1. Эта стратегия позволит значительно сократить перебор вариантов решений за счёт максимального отсечения нижних ветвей дерева поиска. В то же время данный подход рассматривает широкий диапазон разнообразных решений, поскольку осуществляется проход по всем верхним ветвям дерева вариантов. Однако это не позволит перебрать все возможные решения, что в худшем случае может привести к пропуску искомого оптимума. Поэтому эта модификация АР является приближённым методом решения ОРЗ в отличие от исходного алгоритма.

Добавим вышеописанные изменения в оригинальный АР — и алгоритм решения *z*-задачи примет следующий вид.

Ш.1 Решаем *z*-задачу по оригинальной стратегии АР. Если на этапе выполнения алгоритма необходимо произвести отмену назначения текущего задания, т. е. не выполняется усло-

вие (2), то осуществляем быстрый поиск решения *z*-задачи по модифицированной стратегии, т. е. переходим на Ш.2. Иначе решение *z*-задачи найдено, переходим на Ш.11.

Ш.2 $\overline{W} = W$, $j = 1$.

Ш.3 Пока $j \le m$, иначе — на Ш.11.

Ш.4 $W_{best} = \varnothing$, $R_{best} = 0$, где W_{best} — набор заданий, имеющих max значение загрузки $\forall W_j = \left\{ w_k \mid w_k \in \overline{W} \right\}$.

Ш.5 Осуществляем перебор всех возможных $W_j = \left\{ w_k \mid w_k \in \overline{W} \right\}$.

Ш.6 Если $R_j = z$, где R_j — загрузка W_j , то $W_{best} = W_j$, $R_{best} = R_j$ — и переходим на Ш.8.

Ш.7 Иначе если slack > 0 и $R_j > R_{best}$, то $W_{best} = W_j$, $R_{best} = R_j$ — и переходим на Ш.5.

Ш.8 Если W_{best} не пустое множество, то W_{best} назначается исполнителю e_j , $\overline{W} = \overline{W} / W_j$, $j = j + 1$ — и переходим на Ш.3.

Ш.9 Иначе для исполнителя e_j не найден набор заданий, удовлетворяющих условию (2). Если $j = 1$, то просмотрены все рассматриваемые варианты решений, т. е. решение не найдено. Поэтому — выход из алгоритма.

Ш.10 В противном случае осуществляем откат к первому исполнителю e_1 , т. е. $j = 1$, $\overline{W} = W$, $W_{best} = \varnothing$, $R_{best} = 0$, $W_j = W_{next}$, где W_{next} — набор заданий, который ещё не рассматривался алгоритмом, — и переходим на Ш.6.

Ш.11 Решение найдено, формируем результат.

Сравнительный анализ эффективности алгоритмов решения ОРЗ. Для сравнительного анализа эффективности алгоритмов решения ОРЗ помимо модифицированного и исходного АР также использовались метод критического пути (МКП) и эволюционно-генетический алгоритм (ЭГА). Эти алгоритмы являются приближёнными методами решения и характеризуются высокими ресурсно-точностными показателями среди алгоритмов этого класса. С целью исследования эффективности вышеуказанных алгоритмов были проведены вычислительные эксперименты при разных значениях параметров задачи. Такими параметрами являются: n — количество заданий, m — количество исполнителей, $\left[z_1, z_2 \right]$ — диапазон генерации ресурсов заданий. В качестве эволюционно-генетической модели используется модель, описанная в работе [5]. В ходе экспериментов были случайным образом сгенерированы по 100 векторов ресурсов заданий в диапазоне $\left[z_1, z_2 \right]$. Для анализа точностных характеристик приближённых алгоритмов на малых размерностях ОРЗ используется процент нахождения оптимальных решений $P_{опт}$, а ресурсных — среднее время выполнения алгоритма $t_{ср}$ (в секундах) по 100 опытам (табл. 1).

По результатам, приведённым в таблице 1, видно, что точностные свойства МАР значительно лучше других приближённых алгоритмов. Поскольку при неблагоприятных условиях МАР находил оптимальные решения в 92 % случаев, тогда как МКП — 0 %, а ЭГА — 70 %. По ресурсным характеристикам МАР находится на уровне МКП и на порядок быстрее, чем АР и ЭГА.

Согласно исследованиям [5], для АР одним из самых неблагоприятных условий ОРЗ является случай, когда $m = 3$, $n = 17$ и диапазон ресурсов заданий [25..30]. Поэтому проведены дополнительные вычислительные эксперименты, результаты которых подтвердили высокие точностные характеристики МАР: МАР в 100 % случаях находил оптимум, МКП — 0 %, ЭГА — 97 %.

Таблица 1

Результаты экспериментов на малых размерностях ОРЗ

m	n	$[z_1, z_2]$	АР		МАР		МКП		ЭГА	
			$P_{опт}$	$t_{ср}$	$P_{опт}$	$t_{ср}$	$P_{опт}$	$t_{ср}$	$P_{опт}$	$t_{ср}$
2	12	[50, 55]	100	<0.001	**100**	<0.001	*94*	<0.001	**100**	0.171
2	12	[30, 65]	100	<0.001	**100**	<0.001	*36*	<0.001	**100**	0.207
2	14	[50, 55]	100	0.001	**100**	<0.001	*92*	<0.001	**100**	0.239
2	14	[30, 65]	100	<0.001	**100**	<0.001	*51*	<0.001	**100**	0.196
3	13	[40, 60]	100	0.896	**99**	<0.001	*0*	<0.001	**99**	0.245
4	12	[50, 55]	100	0.032	**100**	<0.001	*85*	<0.001	**100**	0.221
4	12	[30, 65]	100	0.249	**92**	<0.001	*36*	<0.001	89	0.264
4	14	[50, 55]	100	25.329	**100**	<0.001	*0*	<0.001	96	0.280
4	14	[30, 35]	100	3.618	**99**	<0.001	*0*	<0.001	70	0.333

Также проведены эксперименты на более высоких размерностях ОРЗ: $m \geq 3$, $n \geq 31$. Поскольку АР в поставленных экспериментах довольно часто не позволял получить решение за приемлемое время (менее 30 минут), в качестве показателя, оценивающего точностные характеристики алгоритмов, используется процент решений $P_{мин}$, имеющих минимальную оценку по опыту (табл. 2).

Таблица 2

Результаты экспериментов на больших размерностях ОРЗ

m	n	$[z_1, z_2]$	МАР		МКП		ЭГА	
			$P_{мин}$	$t_{ср}$	$P_{мин}$	$t_{ср}$	$P_{мин}$	$t_{ср}$
3	31	[50, 55]	**100**	0.023	*0*	<0.001	57	0.795
3	31	[30, 65]	**100**	0.001	*0*	<0.001	93	0.703
3	51	[50, 55]	**100**	0.018	*89*	<0.001	**100**	0.609
3	51	[30, 65]	**100**	0.002	*73*	<0.001	81	0.823
4	41	[40, 60]	**100**	0.092	*0*	<0.001	31	0.802
5	31	[50, 55]	**100**	0.010	*0*	<0.001	26	0.848
5	31	[30, 65]	**100**	0.001	*0*	<0.001	90	0.548
5	51	[50, 55]	**100**	0.087	*0*	<0.001	1	1.535
5	51	[30, 35]	**100**	0.002	*0*	<0.001	*0*	1.139

По результатам, приведённым в таблице 2, МАР не только подтвердил, но и значительно улучшил свои точностные характеристики по сравнению с другими алгоритмами. Во всех проведённых экспериментах МАР находил решение с min оценкой по опыту, тогда как в других алгоритмах этот показатель сильно изменялся: МКП — от 0 до 89 %, ЭГА — от 0 до 100 % . Однако среднее время расчёта значительно увеличилось по сравнению с ранее проведёнными экспериментами на малых размерностях ОРЗ, а именно: с 1 мс до 92 мс. Согласно этому факту, можно сделать предположение, что МАР имеет экспоненциальный рост времени выполнения относительно размерности задачи. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования алгоритма для проверки этой гипотезы. Хочется отметить, что ни в одном опыте количество вариантов, рассматриваемых МАР, при поиске решений не достигло полного перебора, что указывает на эффективность внесённых изменений в АР.

Выводы. МАР обладает высокими ресурсно-точностными характеристиками при решении ОРЗ невысоких размерностей ($m \leq 5$, $n \leq 51$) по сравнению с другими приближёнными алгоритмами. Разработанный алгоритм позволяет в большинстве случаев получать решения с более низкой оценкой по ММК, чем МКП (в среднем в 67,9 % случаев) и ЭГА (25,3 %). К тому же время выполнения МАР во всех экспериментах не превысило 100 мс, что указывает на эффективность внесённых в АР изменений. Однако быстрый рост времени работы алгоритма относительно размерности задачи требует дальнейшего исследования и улучшения МАР.

Библиографический список

1. Коффман, Э. Г. Теория расписания и вычислительные машины / Э. Г. Коффман. — Москва: Наука, 1984. — 334 с.
2. Конвей, Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. — Москва: Наука, 1975. — 360 с.
3. Нейдорф, Р. А. Методологические проблемы теории расписаний / Р. А. Нейдорф, В. Г. Кобак // Системный анализ, управление и обработка информации: 1-й межвуз. сб. науч. ст. / ДГТУ; ТТИ ЮФУ. — Ростов-на-Дону, 2007. — С. 101—108.
4. Романовский, И. В. Алгоритмы решения экстремальных задач / И. В. Романовский. — Москва: Наука, 1977. — 352 с.
5. Будиловский, Д. М. Оптимизация решения задач теории расписаний на основе эволюционно-генетической модели распределения заданий: дисс. ... канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 2007. — 212 с.

Материал поступил в редакцию 14.06.2012.

References

1. Koffman, E\`. G. Teoriya raspisaniya i vy\`chislitel\`ny\`e mashiny\` / E\`. G. Koffman. — Moskva: Nauka, 1984. — 334 s. — In Russian.
2. Konvej, R. V. Teoriya raspisanij / R. V. Konvej, V. L. Maksvell, L. V. Miller. — Moskva: Nauka, 1975. — 360 s. — In Russian.
3. Nejdorf, R. A. Metodologicheskie problemy\` teorii raspisanij / R. A. Nejdorf, V. G. Kobak // Sistemny\`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: 1-j mezhvuz. sb. nauch. st. / DGTU; TTI YuFU. — Rostov-na-Donu, 2007. — S. 101—108. — In Russian.
4. Romanovskij, I. V. Algoritmy\` resheniya e\`kstremal\`ny\`x zadach / I. V. Romanovskij. — Moskva: Nauka, 1977. — 352 s. — In Russian.
5. Budilovskij, D. M. Optimizaciya resheniya zadach teorii raspisanij na osnove e\`volyu-cionno-geneticheskoj modeli raspredeleniya zadanij: diss. ... kand. texn. nauk. — Rostov-na-Donu, 2007. — 212 s. — In Russian.

MODIFIED ROMANOVSKY ALGORITHM FOR QUICK FINDING OF APPROXIMATE SOLUTION TO HOMOGENEOUS ALLOCATION PROBLEM

R. A. Neydorf, A. A. Zhikulin
(Don State Technical University)

The modification of Romanovsky algorithm for the approximate solution to the homogeneous allocation problem is developed. The modification involves lower resource requirements as against the original algorithm. The changes in the original algorithm which permit to provide a more effective procedure of loading executors with tasks are described. The computational experiments are resulted.
Keywords: *scheduling theory, homogeneous problem, minimax criterion, branch-and-bound method, search tree.*

УДК 621.9.06-82

Нестационарные гидромеханические характеристики проточной части управляющих устройств клапанного типа

М. С. Полешкин, В. С. Сидоренко
(Донской государственный технический университет)

Исследуются характеристики гидромеханического устройства, управляющего позиционным циклом в гидроприводе. На специальном проливочном стенде путём идентификации реальных режимов работы устройства определяются его характеристики в условиях нестационарности потока. Аппроксимация результатов полученных зависимостей уточняет математическую модель устройства управления клапанного типа и в целом — динамической системы позиционного гидропривода.
Ключевые слова: *нестационарные характеристики, методика проливки, расходно-перепадные характеристики, гидромеханические устройства.*

Введение. Позиционные гидроприводы с гидравлическими линиями управления траекторией движения посредством контура гидравлического управления (КГУ) позволяют интенсифицировать процесс позиционирования как по быстродействию, так и точности. В качестве управляющих устройств наиболее перспективно применение гидроуправляемых клапанов позиционеров (ГУКП). Поэтому важным вопросом является разработка и исследование таких устройств для подсистем управления приводами целевых механизмов позиционирования оборудования и машин.

Время переключения клапанных устройств существенно меньше золотниковых, это позволяет быстрее и стабильнее управлять гидродвигателями, организовывать субоптимальные циклы работы позиционных гидроприводов, которые, как известно, определяются регулировочными характеристиками управляющих устройств [1].

При расчёте и проектировании дросселирующих управляющих устройств необходимо учитывать не только статические, но и динамические расходно-перепадные характеристики при возможных изменениях внешних воздействий от системы, настройки их параметров регулирования.

Основным элементом ГУКПа является геометрия его проточной части. Уточнение её коэффициента расхода при нестационарном потоке позволяет строить реальные расходно-перепадные характеристики управляющих устройств и его математическую подмодель в обобщённой модели привода.

Основная часть. Идентификация рабочих процессов ГУКП выполняется методом проливочных испытаний гидравлических устройств [2], с учётом нестационарности потока. Для этого определяли регулировочные характеристики управляющего устройства клапанного типа при нестационарных гидромеханических процессах.

Выполненными ранее испытаниями [4] были установлены диапазоны изменения параметров потока и геометрии проточной части ГУКП. Результаты получены в виде зависимости коэффициента расхода $\mu = f(x)$ от геометрической характеристики и представлены на рис. 1.

Анализ проточной части по её геометрической характеристике позволил выделить три характерные области:

1. ГУКП полностью открыт, $[0 < x_{гук} < 0{,}7]$ мм, возникает область подтурбулентного движения потока ($2320 \geq Re_1$), это область открытых проходных сечений при ширине 0,7 мм. Потери давления в этой области пропорциональны квадрату расхода рабочей жидкости и близки к расчётам по уравнению Бернулли [3].

2. ГУКП приоткрыт, клапан находится в области неустановившегося ламинарного режима движения рабочей жидкости ($1800 > Re_2 \geq 700$), определяемой зоной перекрытия

[0,7 > $x_{гук}$ > 1,35] мм. Потери давления в золотниковой паре пропорциональны первой степени расхода и согласуются с расчётами по уравнению Пуазеля.

3. ГУКП полностью закрыт при величине щели [1,35 < $x_{гук}$ < 2,7] мм, ламинарный поток нарушается (0 ≤ $Re_З$ ≤ 700), а расход обусловлен утечками через радиальный зазор золотниковой пары.

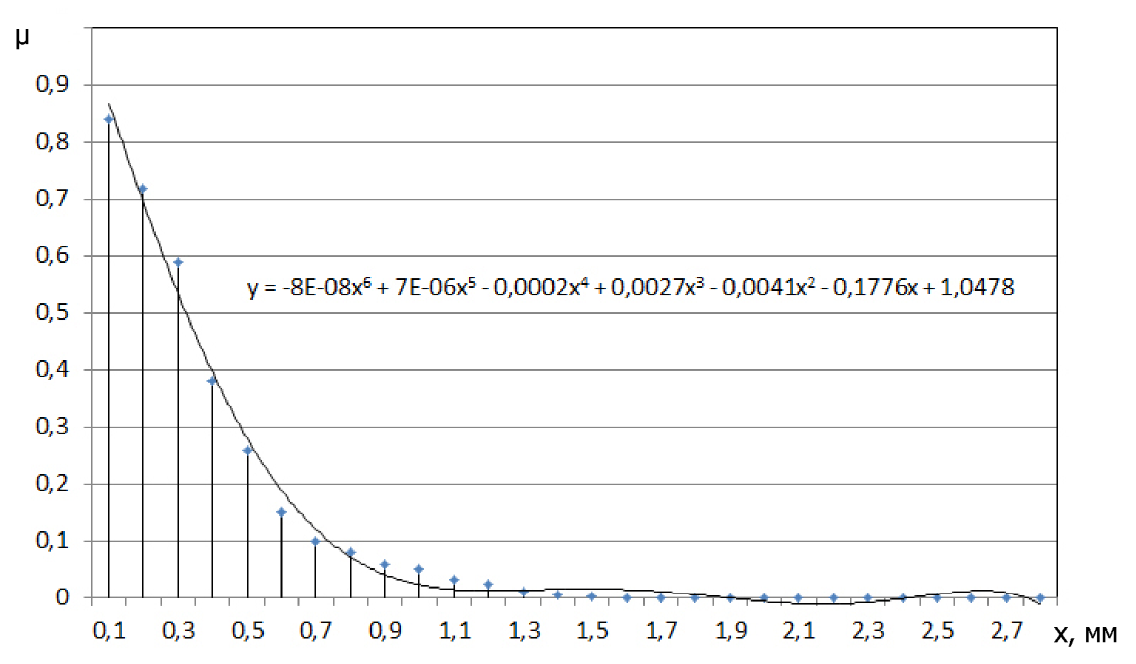


Рис. 1. Зависимость коэффициента расхода μ от величины открытия клапана *x*

Исследуемая область малых открытий клапана определяется интервалом x = 1,35÷2,7 мм. Поведение устройства на этом участке описывается его динамическими расходно-перепадными характеристиками, управляющими сливом гидромотора. Из-за сложности описания нестационарных процессов истечения жидкости задачу решали экспериментальными исследованиями.

Получение нестационарных характеристик сопряжено с определёнными трудностями. Установление точных количественных и качественных значений таких параметров, как: $Q_{гук} = Q(t)$ — расход через проточную часть, $\Delta p_{гук} = p(t)$ — перепад давления на проточной части, ΔT — разность температур до и после дросселирования.

Идентификацию процесса нестационарного течения рабочей жидкости в проточной части клапанного управляющего устройства при малых и средних открытиях проводили на специальном проливочном стенде.

На рис. 2 представлена функциональная схема измерительного комплекса для определения нестационарных характеристик ГУКП.

В основе измерения динамического расхода используется осциллографирование скорости перемещения дросселируемого потока в процессе открытия-закрытия управляющего устройства (ГУКПа). Измерения осуществляются оригинальным устройством — гидродинамическим расходомером (ГДР) в составе которого гидроцилиндр ГЦ и линейный датчик перемещения ДП. Цилиндр имеет облегчённую конструкцию поршня и штока для снижения инерционности при движении. Нестационарный расход $Q_{гук}(t)$, поступая в ГЦ, преобразуется в перемещение поршня $L(t)$, фиксируется датчиком.

Для стабилизации сил сухого трения в конструкции установлена пружина сжатия, настроенная на минимальную величину усилия страгивания поршня ($F_{стп}$ = 1,7 Н). Снижение действия реакций опор достигается установкой ГДР в вертикальном положении, штоком вниз.

Линейный инкрементальный датчик перемещений ЛИР-7 (относительная погрешность $\Delta = 2{,}45\cdot10^{-3}$ м при общей длине перемещения 0,3 м) имеет жёсткую связь с гидроцилиндром через кронштейн. Подвод рабочей жидкости в цилиндр осуществляется в поршневую полость, а штоковая полость соединена с атмосферой. Конструкция смонтирована на жёстком основании.

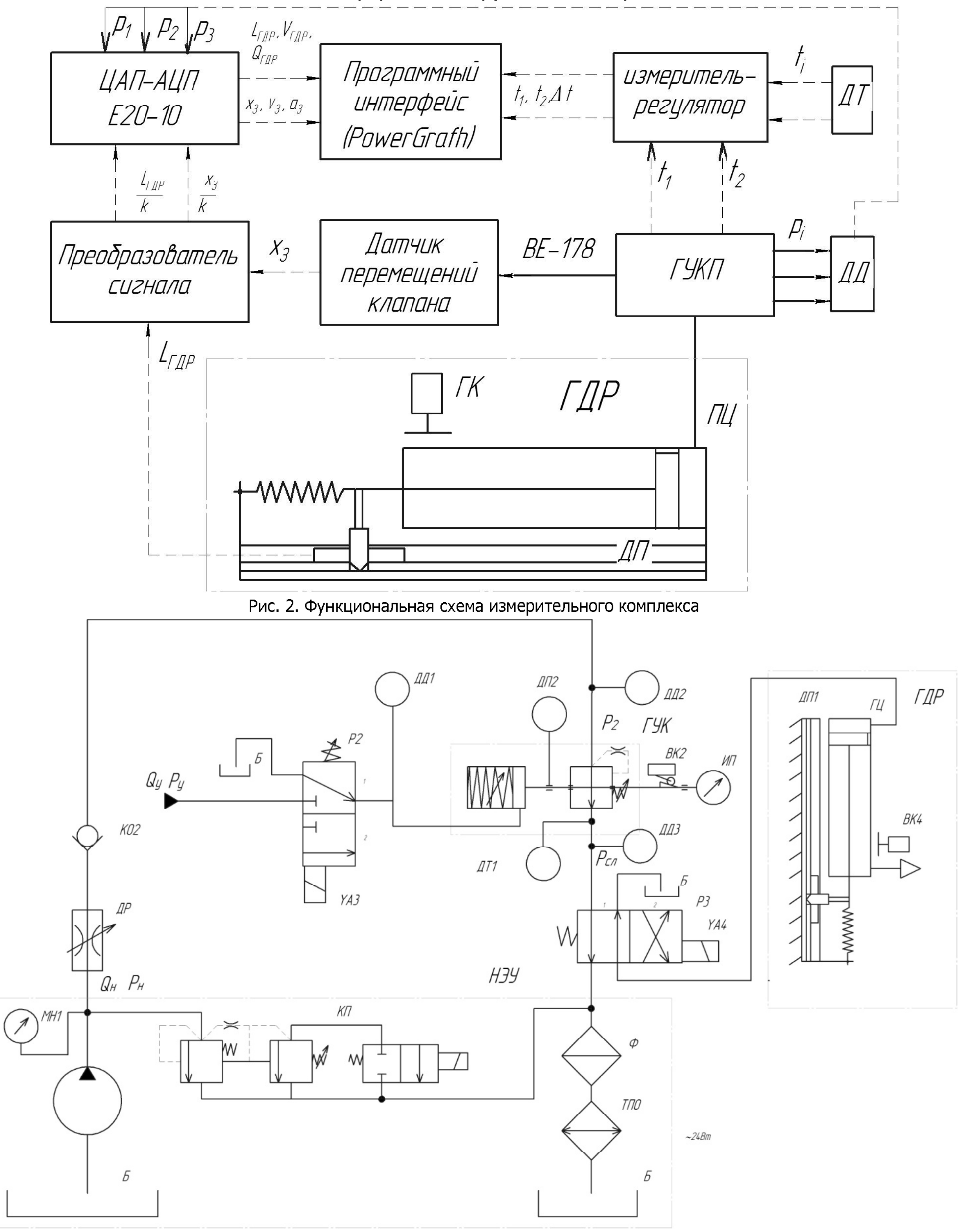


Рис. 2. Функциональная схема измерительного комплекса

Рис. 3. Гидравлическая схема стенда для исследования динамических расходно-перепадных характеристик

Ограничение хода поршня при измерении объёмного расхода регулируется установкой герконовых датчиков положений ГК на корпусе цилиндра. Возврат в исходное положение выполняется вручную. Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис. 3.

Установленный на устройстве герконовый датчик положений (ГДП) позволяет ограничить объём жидкости поступающий в ГЦ расходомера (рис. 3), формируя управляющий сигнал на переключение распределителя Р3 в начальную позицию.

При эксперименте использовались две насосные станции. Первая — обеспечивала циркуляцию потока рабочей жидкости в силовом контуре привода с установившимися параметрами $P_н$ и $Q_н$ в соответствии с методикой эксперимента. Вторая — осуществляла питание контура гидравлического управления — для работы регулирующего устройства — ГУКПа потоком жидкости с параметрами: P_y и Q_y.

Двухпозиционный распределитель Р3 осуществляет подвод потока к гидродинамическому расходомеру. Давление управления P_y при включении YA3 распределителя Р2 поступает в поршневую полость цилиндра ГУКПа, воздействуя на золотник клапана. Одновременное включение YA4 распределителя Р3 направляет поток жидкости при закрытии золотника клапана в цилиндр ГДР.

В качестве рабочей жидкости использовалось минеральное масло МГЕ-46В (ТУ 38 001347-83).

Тепловой режим работы насосной установки поддерживался постоянным (в диапазоне 37±2С°) для каждой серии экспериментов. Контроль осуществлялся термоэлектрическими преобразователями ДТПL011-0,5 (с показателем тепловой инерции $D_{int} \leq 3$ с). Длительность эксперимента составляла 10 мин с учётом стабилизации теплового режима насосной станции.

Для мониторинга термодинамических процессов, протекающих в проточной части ГУКПа, в корпусе клапана устанавливали датчики температуры: ДТ1 на входе и ДТ2 на выходе проточной части.

В крышку гидроуправляемого клапана встроено устройство для измерения и ограничения величины перемещения золотника, с шагом 1 об/1 мм. Величина открытия-закрытия ГУКПа контролируется при помощи индикатора и датчика перемещения клапана.

Датчик перемещения (ВЕ-178) установлен на жёстком кронштейне, через преобразующий механизм фиксирует положение золотника клапана и через плату ЦАП-АЦП передаёт информацию в блок обработки данных.

Компоновка стенда и его элементная база позволяют исследовать динамические регулировочные характеристики различных управляющих устройств с ограничением по рабочему давлению P_{Hmax} = 12 МПа.

Для визуализации рабочих процессов использовался метод осциллографирования при помощи автоматизированного измерительного комплекса. Датчик перемещения ЛИР-7 устанавливался в начальном положении штока гидроцилиндра, после чего воспроизводился и осциллографировался в реальном времени эксперимент.

Нестационарный расход жидкости определи по скорости и ускорениям движения поршня ГЦ. Программный пакет PowerGraf в режиме реального времени дифференцировал функцию перемещения по времени.

В процессе проливки ГУКП проводилась оценка погрешностей и статистическая обработка выполненных измерений. Систематические погрешности оценивались по точности измерительных приборов и принятого метода измерений [5].

В качестве выходных параметров эксперимента фиксировались:

- Расход через ГУК — $Q_{ГУК}$;
- Давление на входе в ГУК — P_1;
- Давление на выходе из ГУКа — P_2;

- Давление управления P_y;
- Перемещение клапана $L_з$;
- Температура рабочей жидкости на входе и выходе ГУКП — $\Delta T_{ГУК}$.

Измерение параметров осциллографировалось в реальном времени и пространстве.

Исследования проводились в соответствии со следующей методикой:

1. Оценка изменения параметров при закрытии золотника клапана. ГУКП — открыт, давление управления P_y отсутствует, распределитель Р2 находится в 1 поз. Для измерения расхода, необходимо подать сигнал управления на электромагниты YA3 и YA4 распределителей Р2 и Р3 соответственно.

2. Оценка изменения параметров при открытии золотника клапана. ГУКП — закрыт, давление управления P_y подано в управляющий элемент клапана, распределитель Р2 находится во 2 поз. Для замера расхода, необходимо подать сигнал управления на электромагнит YA3 распределителя Р3 соответственно.

Геометрия проточной части исследуемого клапана на основе ПГ54-12, представлена на рис. 4. Запорно-регулирующий элемент, выполнен в виде цилиндрического двухщелевого золотника с осевым рабочим движением.

Рабочие характеристики клапана-прототипа являются известными для узкого диапазона открытий, однако, использование его в качестве ГУКа требует функционирования на всём диапазоне открытий (перекрытых, малых и максимальных площадях проточной части).

Поскольку для клапана ПГ54-12 данные геометрические параметры рациональны, то для предлагаемого на его основе устройства оптимизация значений основных из них возможна лишь после гидравлических испытаний ГУКа в реальном приводе.

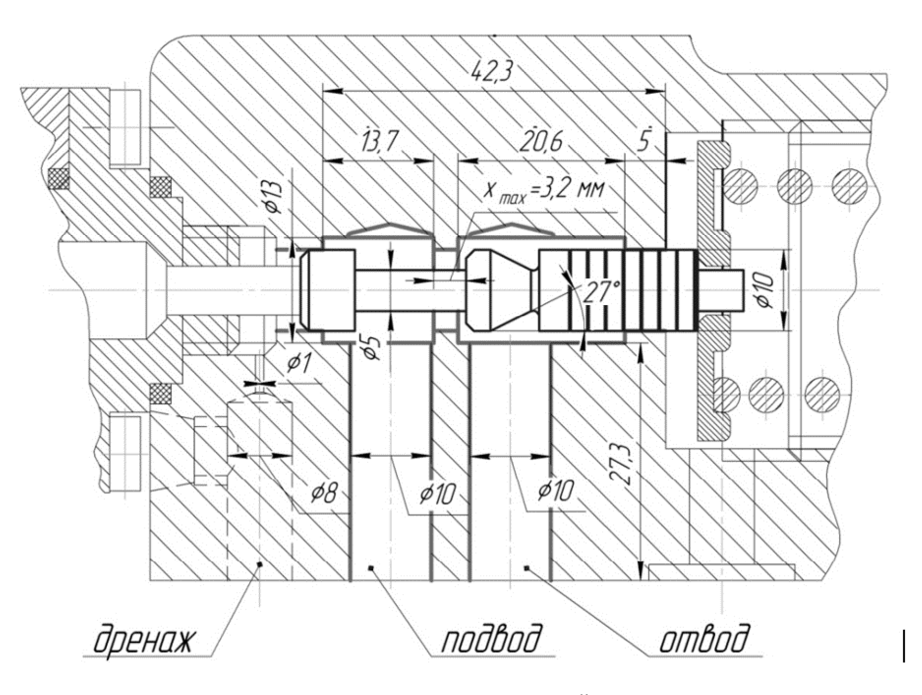


Рис. 4. Конструктивная схема проточной части ГУКПа

В таблице 1, даны значения основных геометрических размерностей проточной части клапана ПГ-54-12.

Типовая осциллограмма нестационарного процесса истечения жидкости через проточную часть при закрытии гидроуправляемого клапана представлена на рис. 6. Такой процесс характерен для позиционирования гидромотора ГУКП, установленного на сливной гидролинии ГМ [4].

Таблица 1

Основные параметры золотниковой пары

Наименование	Рабочий ход золотника	Радиальный зазор ЗП	Диаметр золотника внеш.	Диаметр золотника внутр.	Величина перекрытия золотника	Угол наклона конуса
Обозначение	x_{max}, мм	Δ, мкм	$d_з$, мм	$d_в$, мм	l, мм	β, град
Величина	3,2	$5\cdot10^{-6}$	10	5	$1\cdot10^{-3}$	27°

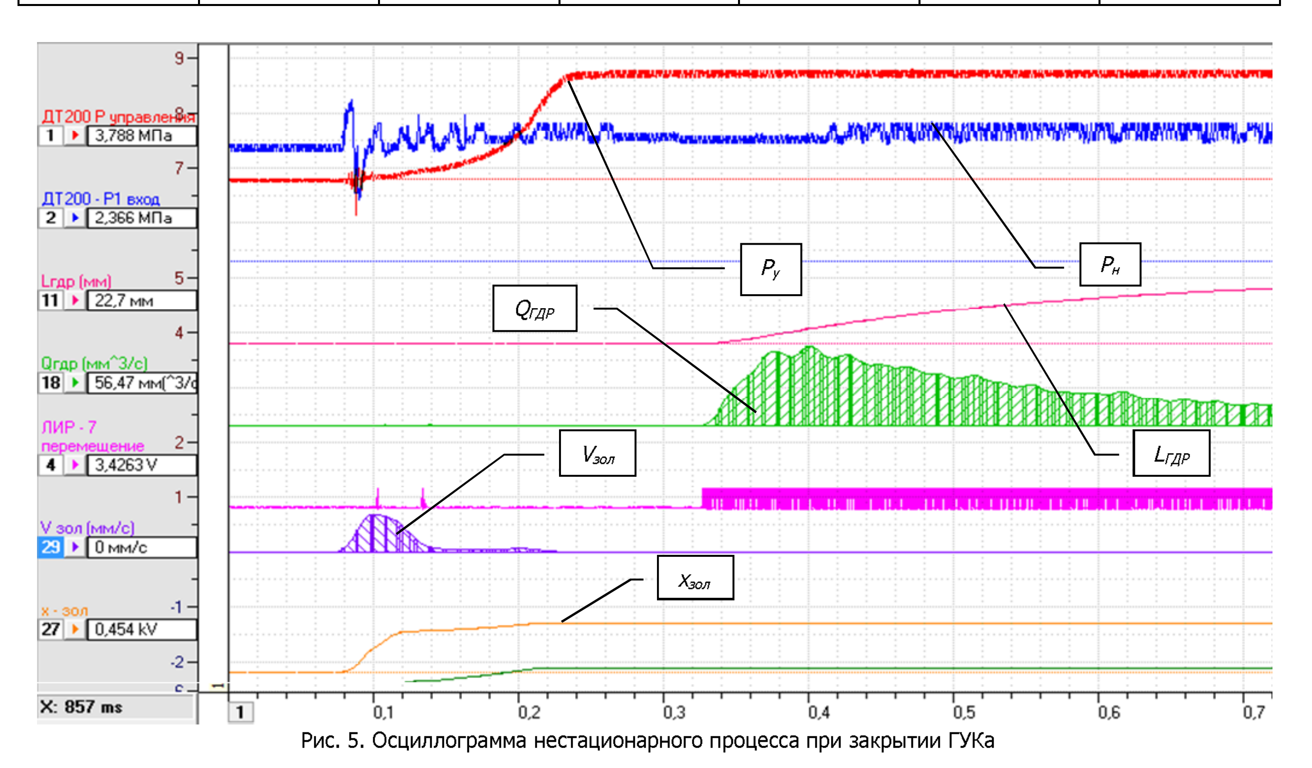


Рис. 5. Осциллограмма нестационарного процесса при закрытии ГУКа

Перепад давлений ΔP на проточной части ГУКа определялся разностью нестационарных значений давлений $P_2(t)$ и $P_1(t)$ при соответствующих расходе $Q_{ГДР}(t)$ и положении $L_{ГДР}$ штока цилиндра расходомера.

На осциллограмме процесса закрытия ГУКПа видно, что имеется запаздывание при измерении динамического расхода. Это объясняется реальной длинной гидролиний связи ГУКПа и ГДР и упругостью трубопровода.

Снижение запаздывания при измерении расхода, как постоянная составляющая времени, компенсируется дополнительной установкой высокоточного реле времени, рассчитав время запаздывания.

Исходя из параметров используемой рабочей жидкости, найдём скорость распространения звуковой волны на участке трубопровода:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; \tag{1}$$

где c — скорость звуковой волны в рабочей жидкости, м/с; E — модуль упругости рабочей жидкости, Н/м²; ρ — плотность рабочей жидкости, кг/м³.

Определение плотности используемого минерального масла рассчитывается в соответствии с его температурой в области дросселирования проточной части ГУКП.

Зная параметры длин гидролиний и скорости распространения звуковой волны, рассчитаем время запаздывания $\Delta t_{зап}$:

$$t_{зап} = \frac{l}{c};\qquad(2)$$

где l — длина сливной гидролинии, м.

Полученные в результате эксперимента данные для нахождения функциональных зависимостей: $p_y = f(Q)$, $Q = f(x)$, $\mu = f(x)$ и $\xi = f(x)$; обрабатывались в соответствии со следующей методикой:

1. Расчёт геометрических параметров проточной части ГУКПа, эскиз которой приведён на рис. 4.

Площадь проходного сечения щели:

$$S_{щ} = \frac{4h \cdot S_{к}}{d_{к}};\qquad(3)$$

где $d_к$ — диаметр золотника, м; h — величина перекрытия щели золотника, м; $S_к$ — площадь прохода двухкромочной щели, м.

Величина перемещения золотника идентифицировалась как функция $x = f(t)$ — в ходе экспериментальных исследований (рис. 6, *а*), затем зависимость аппроксимировалась рядом функций полиномов от 4-го до 9-го порядка при помощи программы SciDAVis ver. 0.2.4.

В результате анализа была выбрана функция $x = f(t)$ в виде полинома 4-го порядка: $x = 5{,}59 \cdot 10^{-12}\, t^4 - 3{,}69 \cdot 10^{-9}\, t^3 + 6{,}87 \cdot 10^{-7}\, t^2 + 5{,}19 \cdot 10^{-6}\, t - 8{,}99 \cdot 10^{-6}$, величина максимальной погрешности аппроксимации составила $R^2 = 0{,}999$ на всём временном интервале значений от 0,077 до 0,129 с.

Коэффициент достоверности аппроксимации, показывающий степень соответствия трендовой модели исходным данным, $R^2 = 0{,}998$.

2. Расчёт гидравлических характеристик гидроуправляемого клапана.

2.1. Число Рейнольдса при дросселировании через золотниковую пару:

$$\mathrm{Re}(t) = \frac{2 \cdot Q_{гдр}(t)}{\pi \cdot d_{к}(t) \cdot \nu_t};\qquad(4)$$

где $Q_{ГДР}$ — расход жидкости, прошедший через проточную часть ГУКПа, измеренный с помощью гидродинамического расходомера, м^3/с; ν_t — кинематический коэффициент вязкости рабочей жидкости при температуре T, м^2/с.

$$\nu_t = \nu_{50}\left(\frac{50}{t^0}\right)^n,\qquad(5)$$

где ν_{50} — кинематический коэффициент вязкости рабочей жидкости при температуре $t = 50$ °С, м^2/с; T — экспериментальная температура рабочей жидкости в проточной части ГУКПа, °С, м^2/с; n — показатель степени, определяемый в соответствии с ниже приведённым выражением

$$n = \lg \nu_{50} + 2{,}7\qquad(6)$$

2.2. Динамический коэффициент расхода:

$$\mu(t) = \frac{Q_{ГДР}(t)}{S(t) \cdot \sqrt{\dfrac{2\Delta P(t)}{\rho}}};\qquad(7)$$

где ΔP — перепад давлений на проточной части ГУКПа, МПа;

$$\Delta P(t) = P_1(t) - P_2(t);\qquad(8)$$

где P_1 — давление на входе ГУКПа, МПа; P_2 — давление выходе ГУКПа, МПа.

2.3. Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\zeta = \frac{2\Delta P(t) \cdot S^2(t)}{Q^2_{ГДР}(t) \cdot \rho}; \qquad (9)$$

Результаты обработки эксперимента использовали для определения значений коэффициента расхода μ(*t*) проточной части при различных законах процесса закрытия и открытия клапана. Области распределения значений μ в зависимости от площади открытия *S* представлены на рис. 6, б.

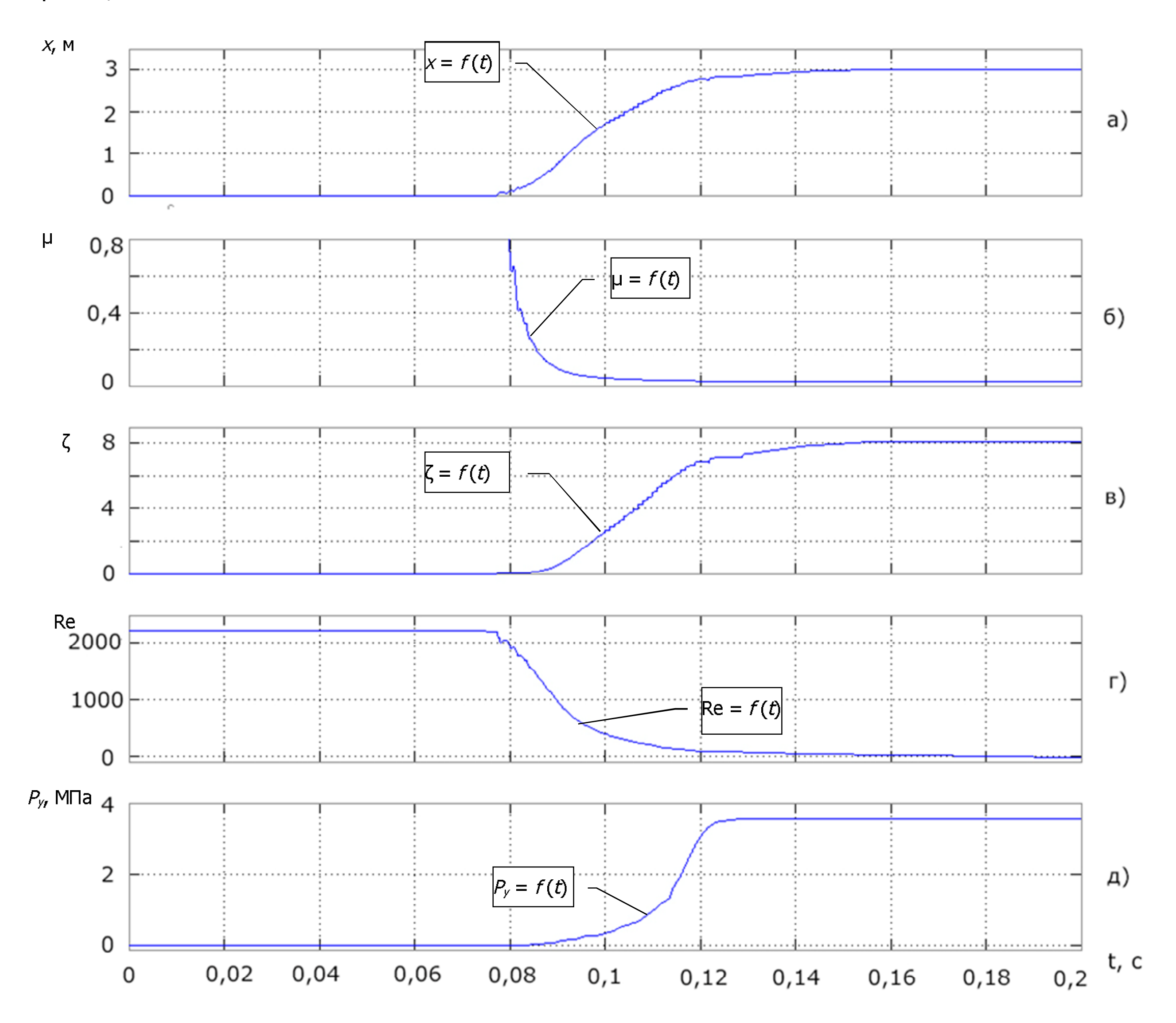
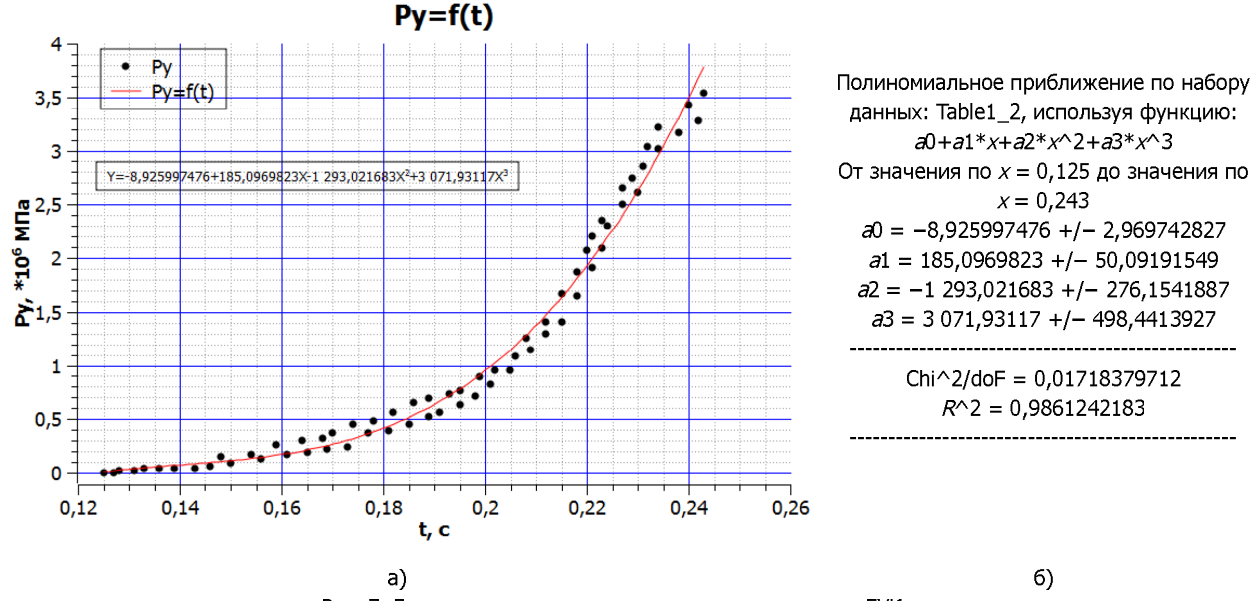


Рис. 6. Гидродинамические характеристики процесса закрытия ГУКП:
а) площадь проточной части $x = f(t)$; б) коэф. расхода $\mu = f(t)$; в) коэф. сопротивления $\zeta = f(t)$; г) числа Рейнольдса $Re = f(t)$; д) давления управления $P_у = f(t)$

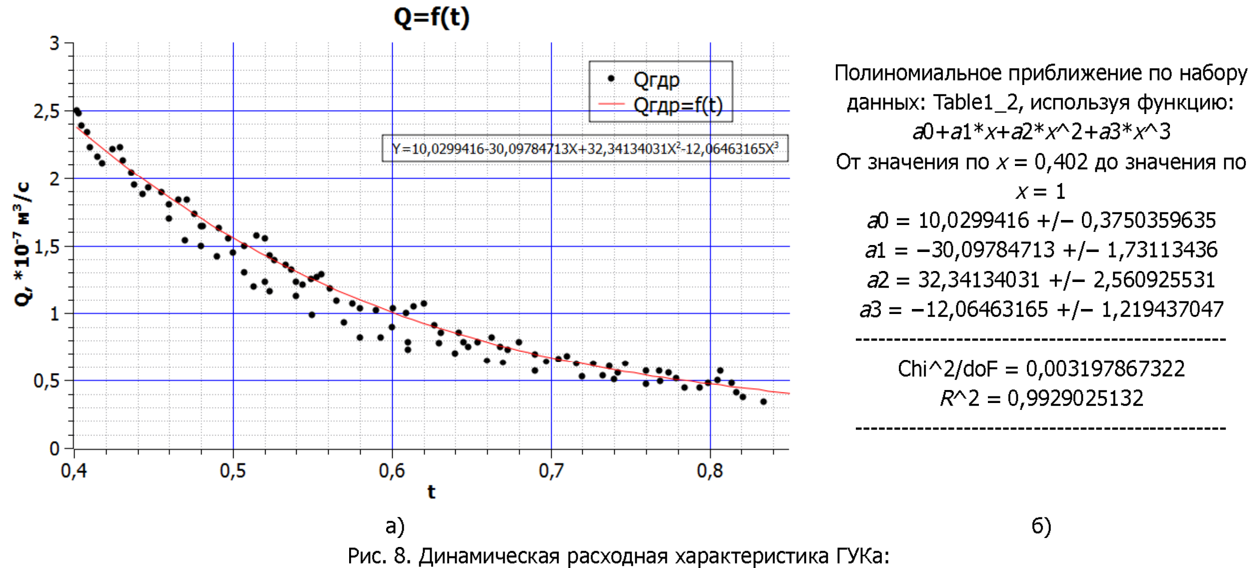
Приведённые на рис. 7 и 8 динамические регулировочные и расходные характеристики гидроуправляемого клапана получены с применением программной поддержки SciDAVis.

Области распределения нестационарного расхода $f = Q(t)$ и давления $f = P_y(t)$ сформированы на основе массива экспериментальных данных, образующий ряд кривых, импортируемые из подсистемы системы сбора данных программы PowerGraph.



а) б)

Рис. 7. Динамическая регулировочная характеристика ГУКа:
а) функция $P_y = f(t)$ изменения давления управления; б) параметры аппроксимации функции $P_y = f(t)$



а) б)

Рис. 8. Динамическая расходная характеристика ГУКа:
а) функция $Q = f(t)$ изменения расхода; б) параметры аппроксимации функции $Q = f(t)$

Давление управления P_y — возрастая квадратично до значения 1,7 МПа, оказывает существенное влияние на коэффициент расхода μ в интервале закрытия клапана $x < 1{,}5$ мм (рис. 6, д). Линейность функции ξ при числах Re < 380 указывает на эффективное изменение турбулентного режима движения потока и переход к ламинарному (рис. 6, *г*). Это свидетельствует об эффективном функционировании клапана в режиме замедления, т. к. коэффициент расхода μ стремительно падает с 0,83 до 0,1 за время $t = 0{,}02$ с (рис. 6, *б*).

Заключение. Анализ результатов исследований позволил аппроксимировать полученные закономерности эмпирическими выражениями, установить связь между выходными параметрами нестационарного потока (Q, μ, ζ, ΔT) жидкости в проточной части гидроуправляемого клапана и в дальнейшем идентифицировать процессы координатных перемещений для позиционных гидромеханических систем клапанного регулирования.

Разработанная методика и специальное экспериментальное оборудование позволяет исследовать нестационарные гидродинамические процессы широкого ряда золотниковых устройств.

Полученные динамические расходно-перепадные $p = f\,(Q)$ и регулировочные характеристики $Q = f\,(x)$ ГУКПа позволили более корректно оценить и описать его работу во всём диапазоне изменения площади проточной части ($0—88{,}7 \cdot 10^{-6}$ м^2) в процессе закрытия-открытия.

Уточнены функции зависимостей коэффициента расхода μ и сопротивления ξ от управляющего давления P_y. Аппроксимация и интеграция полученных функции в математическую модель управляющего устройства, позволили повысить качество вычислительного эксперимента, сократить затраты времени и средств на его последующую доводку испытаниями и уточнением параметров.

Библиографический список

1. Лещенко, В. А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением / В. А. Лещенко. — Москва: Машиностроение — 1975. — 288 с.
2. Ситников, Б. Т. Расчёт и исследование предохранительных и переливных клапанов / Б. Т. Ситников, И. Б. Матвеев. — Москва: Машиностроение — 1971. — 131 с.
3. Попов, Д. Н. Механика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов / Д. Н. Попов. — Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 320 с.
4. Сидоренко В. С. Многофункциональное гидромеханическое устройство позиционирования целевых механизмов станочных систем повышенного быстродействия и точности / В. С. Сидоренко, М. С. Полешкин // Вестник ДГТУ. — 2009. —Т. 9. — Спец. вып.
5. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д. К. Монтгомери — Ленинград: Судостроение — 1980. — 383 с.

Материал поступил в редакцию 27.07.2012.

References

1. Leshhenko, V. A. Gidravlicheskie sledyashhie privody` stankov s programmny`m upravleniem / V. A. Leshhenko. — Moskva: Mashinostroenie — 1975. — 288 s. — In Russian.
2. Sitnikov, B. T. Raschyot i issledovanie predoxranitel`ny`x i perelivny`x klapanov / B. T. Sitnikov, I. B. Matveev. — Moskva: Mashinostroenie — 1971. — 131 s. — In Russian.
3. Popov, D. N. Mexanika gidro- i pnevmoprivodov: ucheb. dlya vuzov / D. N. Popov. — Moskva: MGTU im. N. E`. Baumana, 2001. — 320 s. — In Russian.
4. Sidorenko V. S. Mnogofunkcional`noe gidromexanicheskoe ustrojstvo pozicionirovaniya celevy`x mexanizmov stanochny`x sistem povy`shennogo by`strodejstviya i tochnosti / V. S. Sidorenko, M. S. Poleshkin // Vestnik DGTU. — 2009. —T. 9. — Specz. vy`p. — In Russian.
5. Montgomeri, D. K. Planirovanie e`ksperimenta i analiz danny`x / D. K. Montgomeri — Leningrad: Sudostroenie — 1980. — 383 s. — In Russian.

UNSTEADY HYDROMECHANICAL SPECIFICATIONS OF VALVE FLOW OPERATOR

M. S. Poleshkin, V. S. Sidorenko
(Don State Technical University)

The characteristics of the hydromechanical positioner of the hydrodrive are investigated. Its performance is defined under the flow unsteadiness through the identification of the real modes of the device in the special flow lab. The approximation of the obtained dependences refines the mathematical model of the valve flow operator, and totally — of the positioning hydrodrive dynamic system.
Keywords: *nonstationary characteristics, watering techniques, metering-differential characteristics, hydromechanical devices.*

УДК 62-83(075.8):621.39:62-82(031)

Быстродействующее устройство автоматического ввода резерва для высоковольтных асинхронных двигателей и гидравлический удар

М. Ю. Пустоветов
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены вопросы компьютерного моделирования автоматического ввода резерва при питании мощных высоковольтных асинхронных двигателей водяных насосов. Выявлено существование более и менее благоприятных длительностей паузы питающего напряжения с точки зрения характеристик гидроудара.
Ключевые слова: *быстродействующее устройство автоматического ввода резерва, асинхронный двигатель, ультравысоковольтный однооперационный тиристор, напор, гидроудар.*

Введение. Автоматический ввод резерва (АВР) предусматривается на всех подстанциях, питающих потребителей I категории. Действие АВР осуществляется в пределах 0,2…1,0 с после исчезновения напряжения на контролируемых шинах 6…10 кВ [1]. Быстродействующим АВР (БАВР) называют устройство, обеспечивающее включение резервного питания за время не более 0,1 с. Устройства БАВР могут быть реализованы на базе быстродействующих выключателей с электромагнитным приводом [2]. Наивысшее быстродействие обеспечивают тиристорные устройства АВР (ТАВР) [3]. Максимизация быстродействия АВР в случае питания мощных высоковольтных асинхронных двигателей (АД) связана со стремлением получить более лёгкие условия переходного процесса при восстановлении напряжения на АД. Чем меньше будет длительность бестоковой паузы на АД, тем меньшим будет снижение частоты вращения, выше остаточное напряжение (генерируемая ЭДС) на клеммах АД, как следствие — меньший ток включения. С увеличением быстродействия АВР АД, приводящих насосы по перекачке жидкостей, ожидают также снижения вероятности возникновения и силы гидроударов. Это следует из соотношения [4]:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2, \qquad (1)$$

где H, м — напор; ω, рад/с — частота вращения АД, приводящего насос; индексы 1 и 2 обозначают принадлежность к разным режимам работы.

Проблема гидроударов в трубопроводах особенно важна для ответственных технологических процессов с использованием крупных двигателей. К таким можно отнести насосные станции для перекачивания различных жидкостей: водоканал, нефтехимические предприятия.

Статья посвящена проблеме уменьшения действия гидравлического удара за счёт использования ТАВР. На основании результатов расчётов демонстрируется наличие нелинейной зависимости скорости относительного изменения напора, создаваемого насосом в результате восстановления напряжения на АД, от длительности паузы питающего напряжения.

Объект моделирования. Компьютерная модель. В общих чертах объект моделирования соответствует схеме устройства ТАВР, представленной в [5]. Логика работы компьютерной модели следующая. В условиях установившегося близкого к номинальному режима работы АД с насосной нагрузкой производится одновременное размыкание всех трёх фаз питания с выдержкой паузы напряжения, в течение которой АД работает в режиме выбега, постепенно снижая скорость вращения и остаточное напряжение (генерируемую ЭДС) на клеммах фаз. Моделирование проводилось для длительностей паузы напряжения от 0,02 до 0,1 с. По истечении времени паузы производится одновременная подача сигнала на отпирание всех полупроводниковых приборов в тири-

сторных ключах фаз. Принципиальная схема тиристорного ключа показана на рис. 1: два тиристора включены встречно-параллельно. Задано, что ключи обеспечивают проводимость питающих линий (собственно операцию АВР) в течение 0,08 с. Подразумевается, что одновременно с подачей команды на отпирание полупроводниковых приборов начата операция замыкания электромеханических ключей всех фаз, расположенных в схеме параллельно тиристорным ключам. Предполагается, что время срабатывания электромеханического ключа составляет 0,07 с. Операция его замыкания имитируется в модели замыканием идеализированного ключа в момент времени, рассчитываемый как момент времени окончания паузы напряжения плюс 0,07 с. Таким образом, команда на запирание тиристорных ключей поступает позже, чем замкнутся идеализированные ключи в модели. Задано, что основной и резервный ввод точно сфазированы.

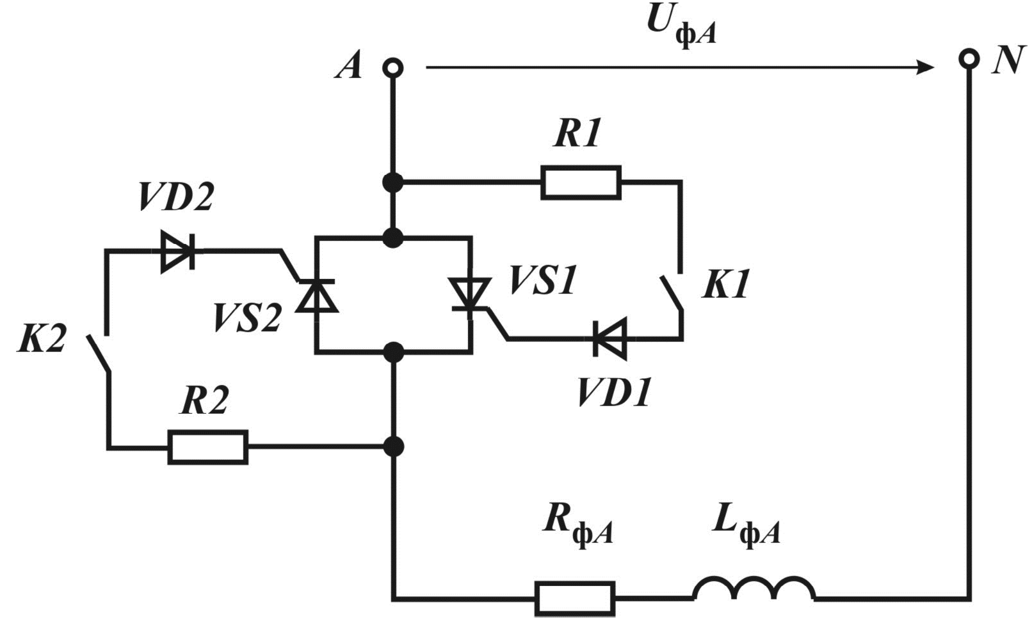


Рис. 1. Схема тиристорного ключа (на примере фазы А АД)

В качестве АД для моделирования взяты трёхфазные четырёхполюсные моторы с короткозамкнутым ротором мощностью 250, 630 и 800 кВт на 6 кВ линейного напряжения. В имитационную модель АД [6] подставлены значения параметров, вычисленные согласно [7]. Нагрузка (насос) смоделирована согласно [8]. С точки зрения механики моделируется жёсткая одномассовая система. В качестве тиристора, применимого для устройства ТАВР, выбран однооперационный ультравысоковольтный тиристор фирмы *Mitsubishi* марки *FT* 1500*AU*-240 на напряжение 12000 В и средний ток в открытом состоянии 1500 А. Моделирование тиристора осуществлено согласно рекомендациям [9].

Результаты моделирования. Результаты моделирования для длительности паузы напряжения 0,03 с и момента инерции, приведённого к валу АД, равного 130 % от момента инерции ротора АД мощностью 630 кВт, показаны на рис. 2. Интерес представляет то обстоятельство, что при относительно незначительном снижении частоты вращения ротора АД (на рис. 2, б всего на 3,7 %), бросок его электромагнитного момента при восстановлении напряжения превышает броски при пуске из неподвижного состояния. Как следствие, максимальное перерегулирование частоты вращения АД также достигается после восстановления напряжения, а не при пуске из неподвижного состояния.

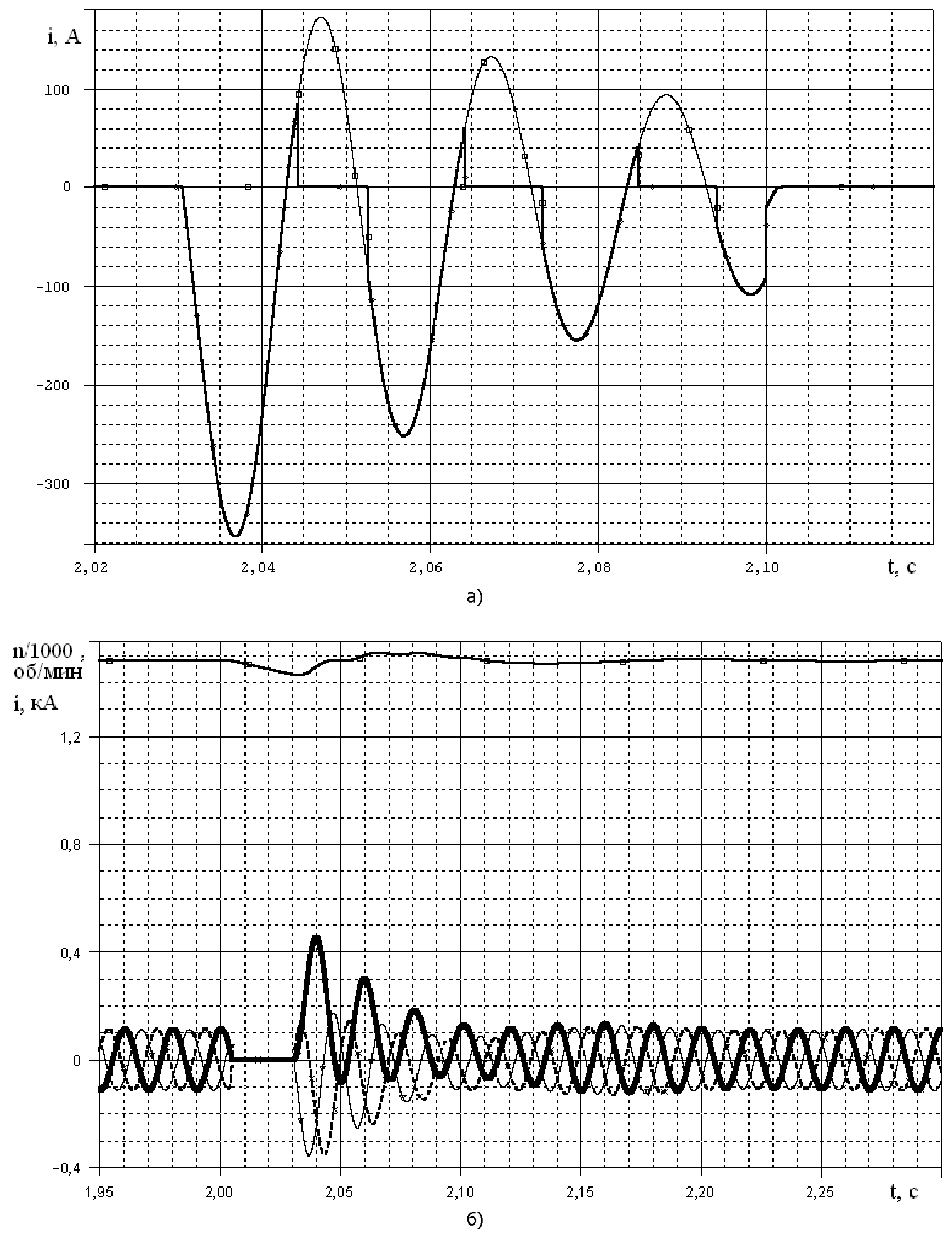


Рис. 2. Результаты моделирования: токи через тиристорный ключ фазы А при работе ТАВР (а); частота вращения АД (верхняя кривая), фазные токи АД до и после паузы напряжения (б)

О гидроударе. Согласно [10], гидравлическим ударом называют явление резкого изменения давления в напорном трубопроводе при внезапном изменении скорости движения жидкости, например, из-за быстрой остановки или пуска насоса. Так как давление и напор связаны прямой пропорциональной зависимостью, то можно говорить о резком изменении напора.

Интерес представляют полученные в ходе обработки результатов ряда расчётных экспериментов данные о скоростях относительного изменения напора, создаваемого насосом, в результате отключения напряжения АД и восстановления напряжения на АД. Эти данные могут быть полезны для суждений о возможности и силе гидравлических ударов.

Если известен момент достижения минимума частоты вращения АД в результате паузы напряжения $t(\omega_{\min})$ и момент достижения максимума частоты вращения АД после восстановления напряжения в результате операции АВР $t(\omega_{\max})$, а также момент начала паузы напряжения t_0, то скорость относительного изменения напора в результате восстановления напряжения на АД:

$$\frac{\Delta \overset{*}{H}_B}{\Delta t_1} = \left(\frac{H(\omega_{\max}) - H(\omega_{\min})}{H(\omega_{уст})} \right) \Big/ \left(t(\omega_{\max}) - t(\omega_{\min}) \right); \qquad (2)$$

скорость относительного изменения напора в результате снятия напряжения с АД

$$\frac{\Delta \overset{*}{H}_C}{\Delta t_2} = \left(\frac{H(\omega_{уст}) - H(\omega_{\min})}{H(\omega_{уст})} \right) \Big/ \left(t(\omega_{\min}) - t_0 \right), \qquad (3)$$

где $\omega_{уст}$ — установившаяся частота вращения АД до отключения напряжения.

Графики зависимостей, полученных по выражениям (2) и (3) для АД мощностью 250, 630 и 800 кВт в условиях момента инерции, приведённого к валу АД, равного 130 % от момента инерции ротора АД, представлены на рис. 3—5.

Результаты моделирования будут несколько иными при других моментах инерции системы «двигатель — насос»: мигрируют точки максимума и минимума на графике $\Delta \overset{*}{H}_B / \Delta t_1$, но сохраняется его характерная форма. С ростом момента инерции при прочих равных условиях уменьшаются изменения частоты вращения и напора. Проведённые вычислительные эксперименты показали нечувствительность результатов к фазе напряжения сети.

Минимизация времени срабатывания АВР ведёт к снижению $\Delta \overset{*}{H}_B / \Delta t_1$, но следует учитывать наличие времени на распознавание аварийной ситуации на основном вводе, времени на использование того или иного способа, позволяющего возможно точнее сфазировать АД на выбеге с напряжением резервного ввода, что на практике может увеличить длительность паузы напряжения.

Для условий рис. 4 следует отметить, что $\Delta \overset{*}{H}_B / \Delta t_1$, рассчитанная для процесса пуска из неподвижного состояния, составила всего 1,079 о.е./с. Это существенно ниже любой точки соответствующего графика на рис. 4.

Как и ожидалось, с ростом длительности паузы напряжения на АД монотонно возрастает амплитуда наибольшего ударного тока фазы при восстановлении напряжения. Для АД мощностью 630 кВт пик фазного тока в процессе пуска из неподвижного состояния не превышает 972,5 А, что меньше максимального значения на рис. 4.

Вопрос о напряжении на клеммах АД в случае, когда тиристорные ключи находятся в запертом состоянии, а АД не включён, то есть за счёт токов утечки через тиристоры, также исследовался на модели. Для АД мощностью 630 кВт величина действующего значения напряжения составила около 45 В при токе утечки порядка единиц мА.

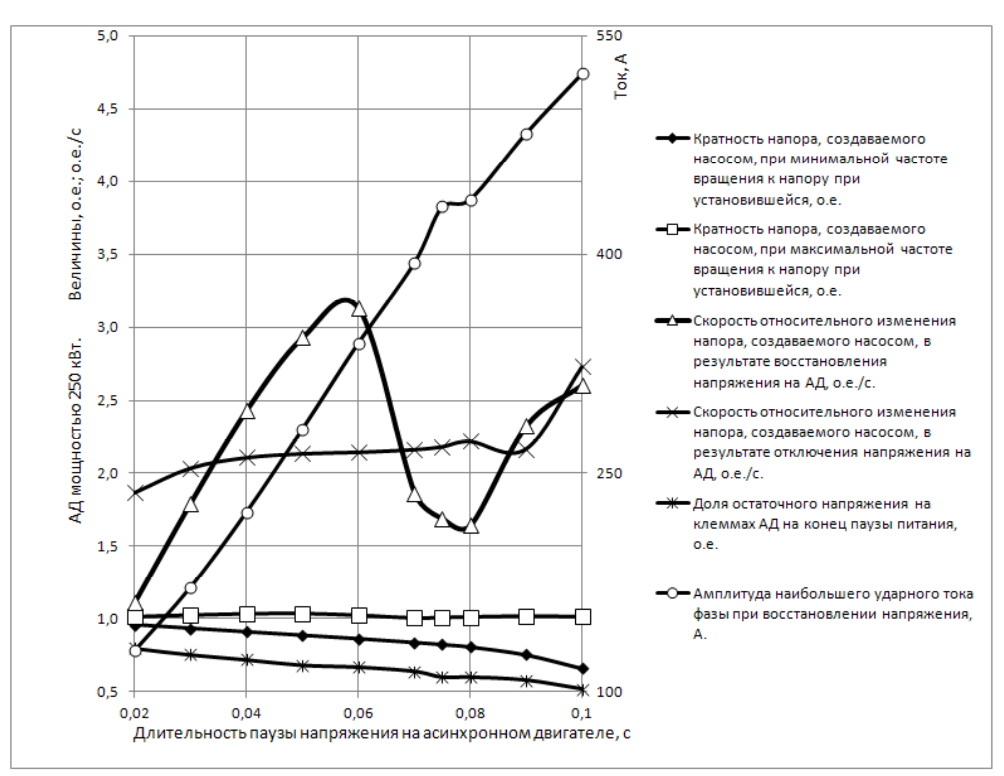


Рис. 3. Зависимости, полученные при моделировании АВР АД мощностью 250 кВт

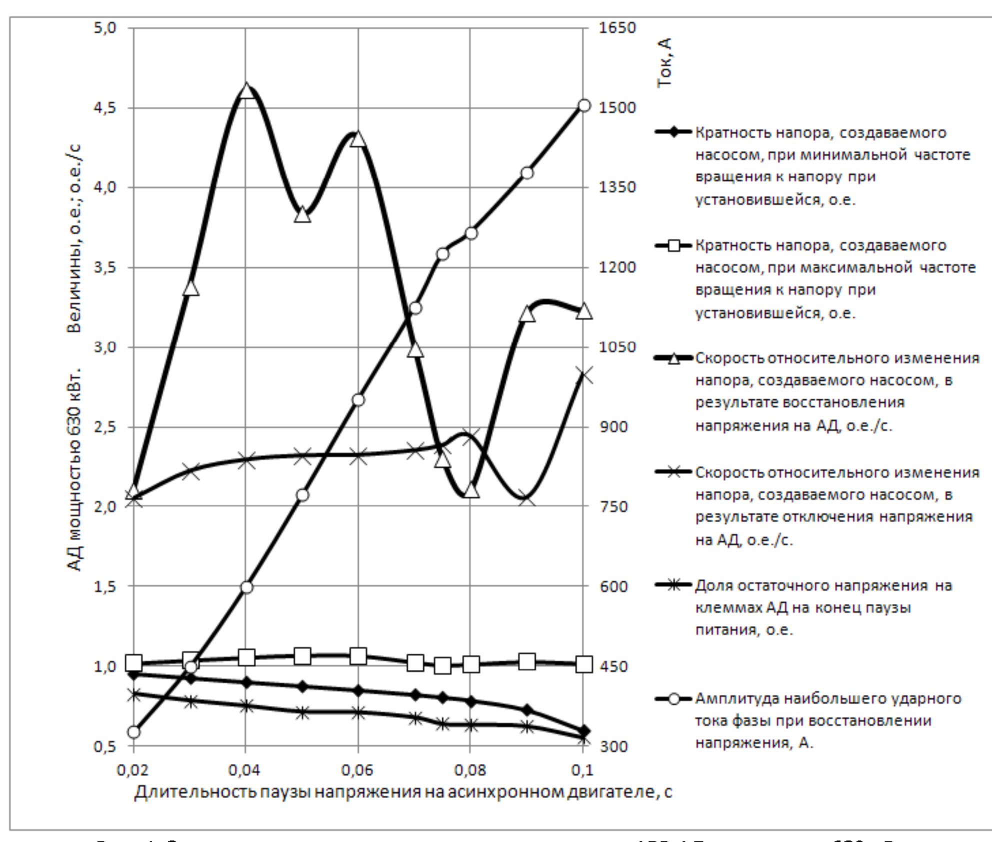


Рис. 4. Зависимости, полученные при моделировании АВР АД мощностью 630 кВт

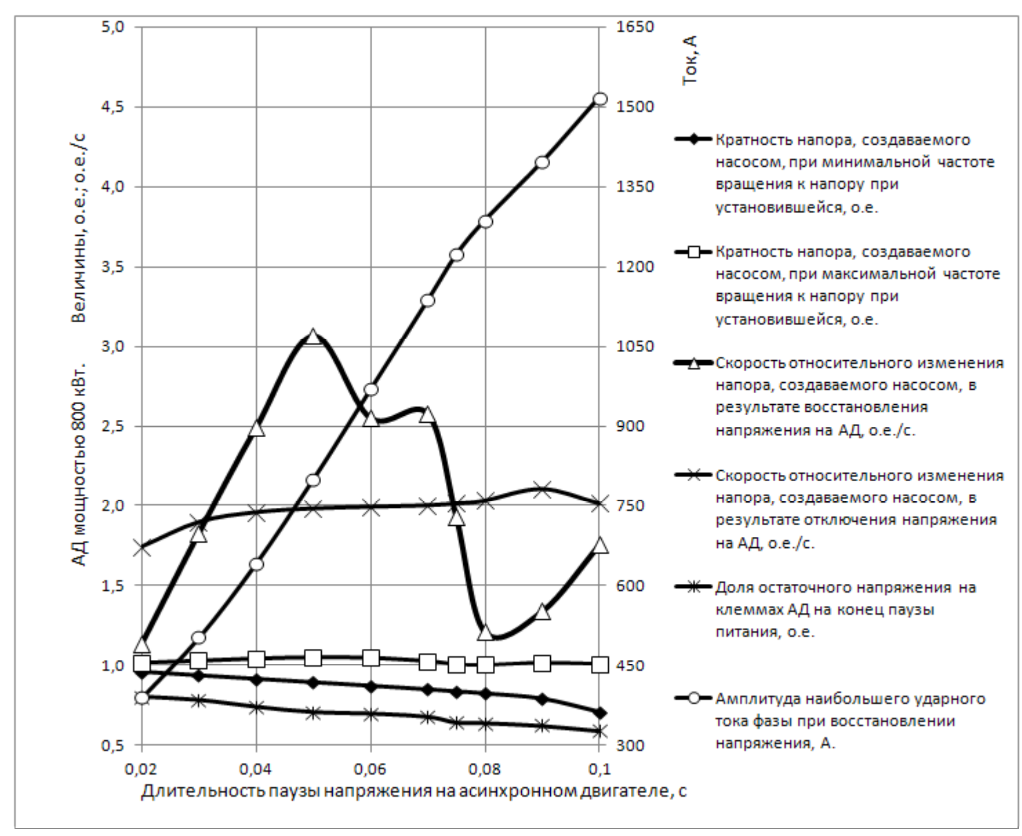


Рис. 5. Зависимости, полученные при моделировании АВР АД мощностью 800 кВт

Заключение. Проведённое компьютерное моделирование выявило наличие сложной нелинейной зависимости скорости относительного изменения напора, создаваемого насосом в результате восстановления напряжения на АД, от длительности паузы питающего напряжения, что может оказывать влияние на возможность возникновения и силу гидроудара. Таким образом, не представляется возможным утверждать, что увеличение быстродействия БАВР однозначно приводит к снижению риска возникновения и возможных последствий гидравлического удара.

Более точные выводы по этому вопросу могут быть сделаны в каждом конкретном случае при учёте характеристик реальной системы: кинематической схемы привода, свойств трубопроводов, жидкости.

Пуск АД привода насоса из неподвижного состояния не обязательно характеризуется более тяжёлым переходным процессом по сравнению с включением вращающегося АД.

Библиографический список

1. Короткевич, М. А. Основы эксплуатации электрических сетей: учеб. пособие / М. А. Короткевич. — Минск: Вышэйш. школа — 1999. — 267 с.

2. Янукович, А. БАВР: быстродействующий автоматический ввод резерва / А. Янукович // Электротехнический рынок. — № 9 (15), 2007. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://market.elec.ru/nomer/13/bavr/ (дата обращения: 08.01.2012).

3. Аптекарь, Д. Методы и средства повышения надёжности электроснабжения ответственных потребителей / Д. Аптекарь, Г. Рубашев, Д. Чиканков // Новости электротехники. — № 2 (8), 2001. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://www.news.elteh.ru/arh/2001/8/ (дата обращения: 08.01.2012).

4. Москаленко, В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: учебник / В. В. Москаленко — Москва: ИНФРА-М, 2007. — 208 с.

5. Устройства повышения надёжности электроснабжения ответственных потребителей // Сайт Института энергетической электроники отдела электроэнергетических проблем РАН. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://www.ipe.ru/publicat/TAVR.html (дата обращения: 08.01.2012).

6. Пустоветов, М. Ю. Модель асинхронного электропривода, выполненная в системе *OrCAD* 9.2 / М. Ю. Пустоветов, И. В. Пехотский, П. Г. Колпахчьян, С. Ю. Пустоветова // Оптимизация режимов работы систем электроприводов: межвуз. сб. науч. тр. / КГТУ, Красноярск, 2002. — С. 42—51.

7. Пустоветов, М. Ю. Приближённый расчёт параметров схемы замещения асинхронного двигателя / М. Ю. Пустоветов, С. Ю. Пустоветова // МГОУ — XXI — Новые технологии. — № 1. — 2004. — С. 25—28.

8. Пустоветов, М. Ю. Моделирование нагрузки на валу и расчёт КПД электрической машины в среде *OrCAD* 9.2 / М. Ю. Пустоветов, С. Ю. Пустоветова // Новая техника и технология в производстве сельскохозяйственных машин: сб. науч. тр. — Ростов-на-Дону: Рост. гос. акад. с.-х. машиностроения, 2002. — С. 145—151.

9. Болотовский, Ю. И. *OrCAD*. Моделирование. «Поваренная» книга / Ю. И. Болотовский, Г. И. Таназлы. — Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. — 200 с.

10. Вильнер, Я. М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер, Я. Т. Ковалёв, Б. Б. Некрасов. — Минск: Вышэйш. школа, 1976. — 416 с.

Материал поступил в редакцию 11.01.2012.

References

1. Korotkevich, M. A. Osnovy` e`kspluatacii e`lektricheskix setej: ucheb. posobie / M. A. Korotkevich. — Minsk: Vy`she`jsh. shkola — 1999. — 267 s. — In Russian.

2. Yanukovich, A. BAVR: by`strodejstvuyushhij avtomaticheskij vvod rezerva / A. Yanukovich // E`lektrotexnicheskij ry`nok. — № 9 (15), 2007. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://market.elec.ru/nomer/13/bavr/ (data obrashheniya: 08.01.2012). — In Russian.

3. Aptekar`, D. Metody` i sredstva povy`sheniya nadyozhnosti e`lektrosnabzheniya otvetstvenny`x potrebitelej / D. Aptekar`, G. Rubashev, D. Chikankov // Novosti e`lektrotexniki. — № 2 (8), 2001. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://www.news.elteh.ru/arh/2001/8/ (data obrashheniya: 08.01.2012). — In Russian.

4. Moskalenko, V. V. Sistemy` avtomatizirovannogo upravleniya e`lektroprivoda: uchebnik / V. V. Moskalenko — Moskva: INFRA-M, 2007. — 208 s. — In Russian.

5. Ustrojstva povy`sheniya nadyozhnosti e`lektrosnabzheniya otvetstvenny`x potrebitelej // Sajt Instituta e`nergeticheskoj e`lektroniki otdela e`lektroe`nergeticheskix problem RAN. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://www.ipe.ru/publicat/TAVR.html (data obrashheniya: 08.01.2012). — In Russian.

6. Pustovetov, M. Yu. Model` asinxronnogo e`lektroprivoda, vy`polnennaya v sisteme OrCAD 9.2 / M. Yu. Pustovetov, I. V. Pexotskij, P. G. Kolpaxch`yan, S. Yu. Pustovetova // Optimizaciya rezhimov raboty` sistem e`lektroprivodov: mezhvuz. sb. nauch. tr. / KGTU, Krasnoyarsk, 2002. — S. 42—51. — In Russian.

7. Pustovetov, M. Yu. Priblizhyonny`j raschyot parametrov sxemy` zameshheniya asinxronnogo dvigatelya / M. Yu. Pustovetov, S. Yu. Pustovetova // MGOU — XXI — Novy`e texnologii. — № 1. — 2004. — S. 25—28. — In Russian.

8. Pustovetov, M. Yu. Modelirovanie nagruzki na valu i raschyot KPD e`lektricheskoj mashiny` v srede OrCAD 9.2 / M. Yu. Pustovetov, S. Yu. Pustovetova // Novaya texnika i texnologiya v proizvodstve

sel`skoxozyajstvenny`x mashin: sb. nauch. tr. — Rostov-na-Donu: Rost. gos. akad. s.-x. mashinostroeniya, 2002. — S. 145—151. — In Russian.

9. Bolotovskij, Yu. I. OrCAD. Modelirovanie. «Povarennaya» kniga / Yu. I. Bolotovskij, G. I. Tanazly`. — Moskva: SOLON-Press, 2005. — 200 s. — In Russian.

10. Vil`ner, Ya. M. Spravochnoe posobie po gidravlike, gidromashinam i gidroprivodam / Ya. M. Vil`ner, Ya. T. Kovalyov, B. B. Nekrasov. — Minsk: Vy`she`jsh. shkola, 1976. — 416 s. — In Russian.

FAST AUTOMATIC TRANSFER SCHEME FOR HIGH VOLTAGE INDUCTION MOTORS AND WATER HAMMER

M. Y. Pustovetov
(Don State Technical University)

Some computer simulation issues on the automatic transfer for the water pump powerful high voltage induction motors are considered. The occurrence of more and less beneficial supply voltage spacing intervals for the water hammer characteristics is revealed.

Keywords: *fast automatic transfer scheme, induction motor, ultra high voltage SCR thyristor, pressure, water hammer.*

УДК 629:621.5

Снижение риска кристаллизации влаги в пневматических системах за счёт применения спиртовых установок

Л. Ф. Риполь-Сарагоси
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

Рассмотрены вопросы исключения угроз перемерзания пневмоавтоматических узлов подвижного состава за счёт использования жидкостей с пониженной температурой замерзания. Проанализированы конструктивные решения. Предложены наиболее приемлемые решения для использования.
Ключевые слова: *сжатый воздух, подвижной состав, спиртораспылитель.*

Введение. В программном документе «Стратегия развития ОАО „РЖД"» на период до 2015 года эффективность и безопасность перевозочного процесса представлены как безусловный приоритет в развитии железнодорожной отрасли страны [1]. Реализация задачи повышения безопасности перевозок невозможна без надёжной работы пневматических систем подвижного состава. В практике эксплуатации подвижного состава возникают нарушения нормального режима работы, обусловленные наличием водяных паров в сжатом воздухе. Их конденсация вызывает интенсивное ржавление магистралей, арматуры и других узлов пневмоавтоматики, а в осенне-весенний период возникает угроза перемерзания магистралей и тормозных приборов, что реально угрожает безопасности движения, приводит к простою поездов, материальным потерям.

Снижение риска кристаллизации влаги в пневматических системах за счёт применения спиртовых установок. Основные причины попадания влаги в тормозную магистраль и приборы, возникновения ледяных пробок и отказов в работе пневмооборудования — это высокая температура сжатого воздуха, превышающая температуру окружающей среды на выходе из последнего главного резервуара локомотива, и сконденсировавшаяся, но не осевшая в них влага. Из сказанного следует, что в пневмосистеме локомотивов нужно применять устройство, исключающее перемерзание узлов пневмоавтоматики. Для предотвращения замерзания влаги в воздушных магистралях локомотивов отечественного и зарубежного производства технологически возможно применение спиртоиспаряющих устройств, позволяющих значительно снизить температуру точки росы сжатого воздуха.

Используемые жидкости должны отвечать следующим требованиям:

— малая вязкость при отрицательных температурах;
— низкая температура замерзания;
— хорошая растворимость в воде.

Они также должны быть не агрессивны, не ядовиты, не дефицитны, относительно дёшевы и работоспособны в широком диапазоне концентраций. Этим требованиям (правда, не в полной мере) отвечают такие жидкости, как этиловый и метиловый спирты, этиленгликоль, глицерин.

Для более корректного выбора жидкости были проанализированы климатические условия, в которых эксплуатируются электровозы. Обработка данных о климате Российской Федерации позволила разделить территории нашей страны, где имеются железные дороги с электрической тягой, на четыре климатические зоны по температурному признаку. Результаты обработки обобщены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в наиболее холодной зоне продолжительность периода с температурами минус ниже 30 °С составляет менее 4 % от числа дней в году с отрицательными температурами. Поэтому физические свойства выбранных жидкостей следует рассматривать при темпера-

турах минус 30 °С. Кроме того, при низких температурах атмосферного воздуха в нём содержится очень мало водяных паров, и их конденсация в пневмомагистрали не представляет реальной опасности.

Таблица 1

Климатические зоны Российской Федерации

№ зоны	Температурная зона	Число дней в году с температурой t_0 в интервале, °С									
		От 0 до –4,9	От –5 до –9,9	От –10 до –14,9	От –15 до –19,9	От –20 до –24,9	От –25 до –29,9	От –30 до –34,9	От –35 до –39,9	От –40 до –44,9	От –45 до –49,9
I	Сибирь	35,0	34,5	33,9	28,3	18,9	10,25	4,25	1,65	0,35	0,33
II	Северо-Восток Европейской части	51,3	35,7	23,0	12,8	5,57	1,3	0,3	0,03	—	—
III	Средняя полоса Европейской части	51,0	28,6	14,65	6,3	1,8	0,36	0,01	—	—	—
IV	Юго-Запад Европейской части	47,5	20,4	6,52	1,48	0,21	0,02	—	—	—	—

На рис. 1 приведены зависимости температуры замерзания водяных растворов некоторых жидкостей от их концентрации [2]. При температурах от минус 30 °С до 0 °С рабочий диапазон концентраций глицерина лежит в узких пределах, соответствующих 55—75 %. Для остальных концентраций замерзание глицерина происходит при более высоких температурах. Кроме того, эта жидкость при температурах в диапазоне 0 °С — минус 30 °С имеет высокую вязкость, в $6{,}5 \cdot 10^3$ — $5{,}0 \cdot 10^5$ раз превышающую вязкость этилового спирта. В силу этого глицерин не может быть рекомендован для введения в сжатый воздух.

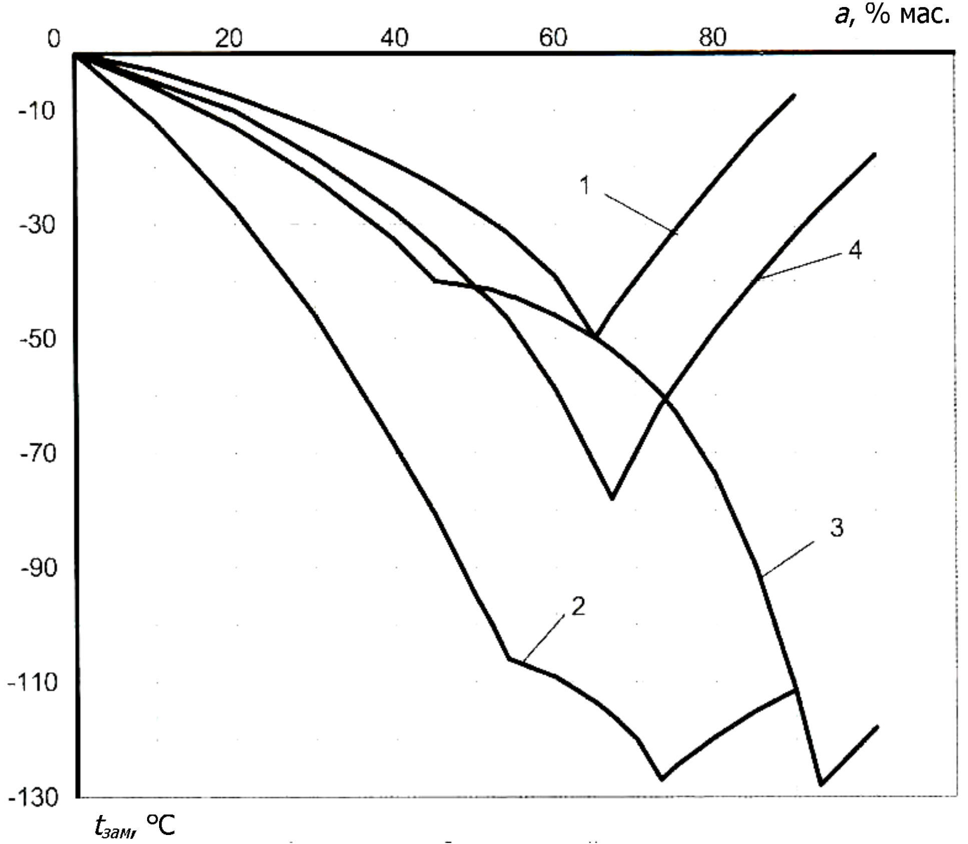


Рис. 1. Зависимость температуры замерзания водных растворов жидкостей от их концентрации:
1 — глицерин; 2 — метиловый спирт; 3 — этиловый спирт; 4 — этиленгликоль

Этиленгликоль имеет диапазон концентраций в пределах 40—90 %, вязкость его в 25 раз выше вязкости этилового спирта. Он относится к малолетучим веществам. Так, например, при температуре 10 °С упругость его насыщенных паров в 120 раз ниже, чем этилового спирта. Вследствие этого применять этиленгликоль нельзя. Кроме того, этиленгликоль — сильный яд. Наиболее опасен при попадании внутрь организма. В этом случае поражаются центральная нервная и сердечно-сосудистая системы, почки, лёгкие. Поэтому этиленгликоль обладает худшими рабочими характеристиками для рассматриваемой цели.

Метиловый спирт (метанол) имеет весьма широкие пределы рабочих концентраций. Он работоспособен практически во всём диапазоне концентраций раствора. Его вязкость примерно в 2 раза ниже вязкости этилового спирта.

Таким образом, метиловый спирт по своим техническим данным значительно предпочтительней других жидкостей. Но он не может быть применён на подвижном составе железнодорожного транспорта из-за высокой токсичности. Попадание в организм человека 5—10 см^3 метанола приводит к тяжёлому отравлению, а 30 см^3 и более — к смерти. В парообразном состоянии метиловый спирт сильно раздражает дыхательные пути и слизистую оболочку глаз, поражает зрительные нервы, сетчатку, проникает через кожу.

Рабочие концентрации этилового спирта для температур до минус 30 °С находятся ниже 40 % мас. Он достаточно летуч, имеет невысокую вязкость. По техническим характеристикам применение этилового спирта менее целесообразно по сравнению с метиловым, однако он менее токсичен и не столь опасен для обслуживающего персонала.

Из приведённого анализа видно, что для применения на подвижном составе железнодорожного транспорта наиболее приемлемой жидкостью с пониженной температурой замерзания является этиловый спирт.

Для облегчения инженерных расчётов на рис. 2 приведена номограмма рассмотренной зависимости. Порядок пользования номограммой показан стрелками. Например, при t_0 = минус 30 °С и ϕ_0 = 90 % расход спирта при давлении сжатого воздуха 0,9 МПа равняется 0,32 г/м^3. При t_0 = минус 15 °С и ϕ_0 = 90 %, g = 0,67 г/м^3 и т. д. Из графиков следует, что максимальный расход вводимого в пневмомагистраль спирта имеет место при температурах атмосферного воздуха от минус 10 до минус 15 °С. Его величина составляет 0,73 г/м^3.

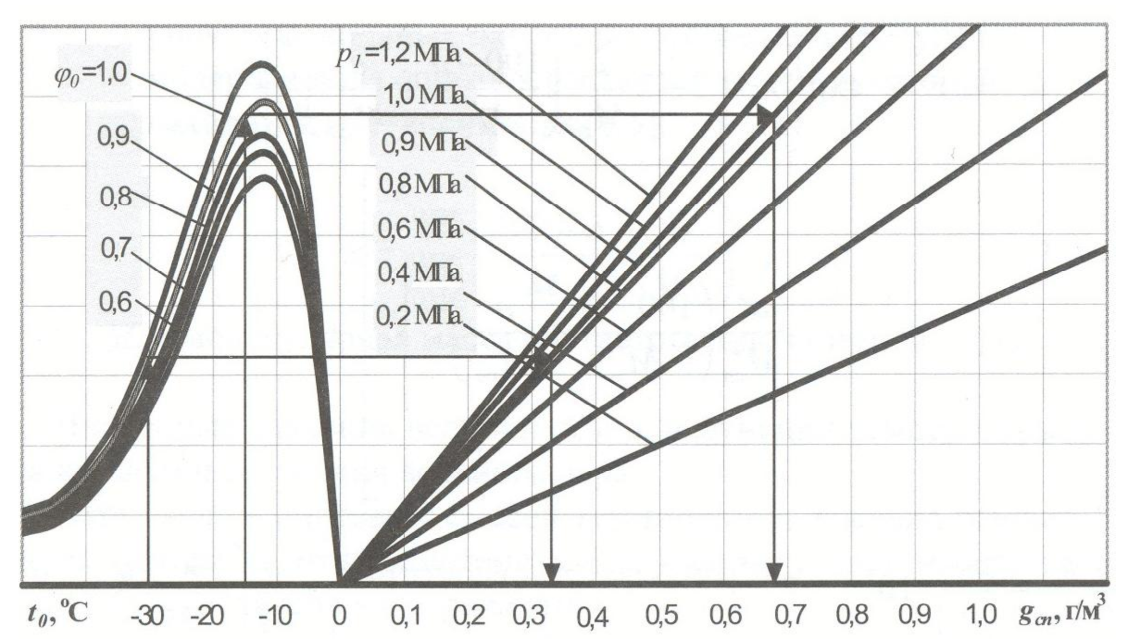


Рис. 2. Зависимость расхода этилового спирта от температуры и влажности атмосферного и давления сжатого воздуха

Введение в сжатый воздух этилового спирта может осуществляться аппаратами, работающими по принципу его испарения, — спиртоиспарителями [3].

Принципиальная схема спиртоиспарителя для пневмосистемы локомотива приведена на рис. 3. Действие аппарата заключается в следующем. Нагретый в процессе сжатия в компрессоре воздух поступает в аппарат. При прохождении сжатого воздуха по каналу, диаметр d_2 которого меньше диаметра d_1 входного отверстия, в сечении 2—2 по сравнению с сечением 1—1 скорость воздушного потока возрастает, а статическое давление уменьшается. Под действием разрежения поток сжатого воздуха делится на две части: одна из них через канал 1 поступает в пространство 3 над испаряемой жидкостью, обогащается её парами и на выходе из канала 2 смешивается со вторым потоком, направляющимися в магистраль. При движении по воздухопроводу температура воздухо-спиртовой смеси понижается, что приводит к конденсации паров воды и спирта с образованием водного раствора. Для определения производительности испарителя (по спирту) необходимо знать расход сжатого воздуха над поверхностью испарения, температуру паровоздушной смеси, коэффициент испарения спирта в аппарате конкретной конструкции.

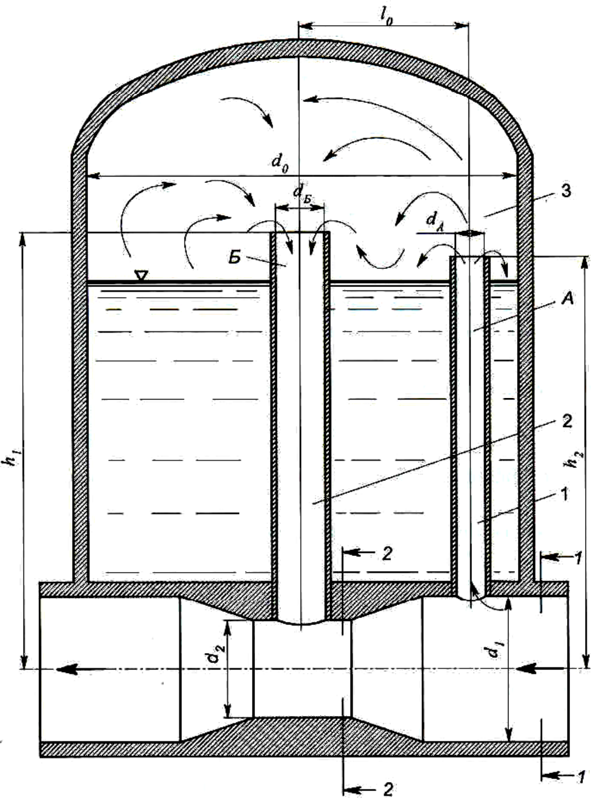


Рис. 3. Спиртоиспаритель

Количество сжатого воздуха, проходящего над поверхностью жидкости в резервуаре аппарата, определяется из его гидравлического расчёта [4]. При этом аэродинамический тракт испарителя рассматривается как два параллельно включённых канала, каждый из которых представляет сумму нескольких последовательно расположенных местных сопротивлений и сопротивлений трения.

В настоящее время для применения той или иной установки на подвижном составе необходимо технико-экономическое обоснование, позволяющие говорить об экономической эффективности применения устройства.

На протяжении многих лет учёными ВЭлНИИ, ВНИКТИ, РИИЖТа (ныне РГУПС) проводились фундаментальные исследования спиртоиспаряющих установок для локомотивов [5]. Резуль-

таты этих исследований приведены на рис. 4 и 5 в виде интегральных гистограмм годовых расходов спирта спиртоиспарителями, эксплуатирующимися в различных климатических зонах РФ.

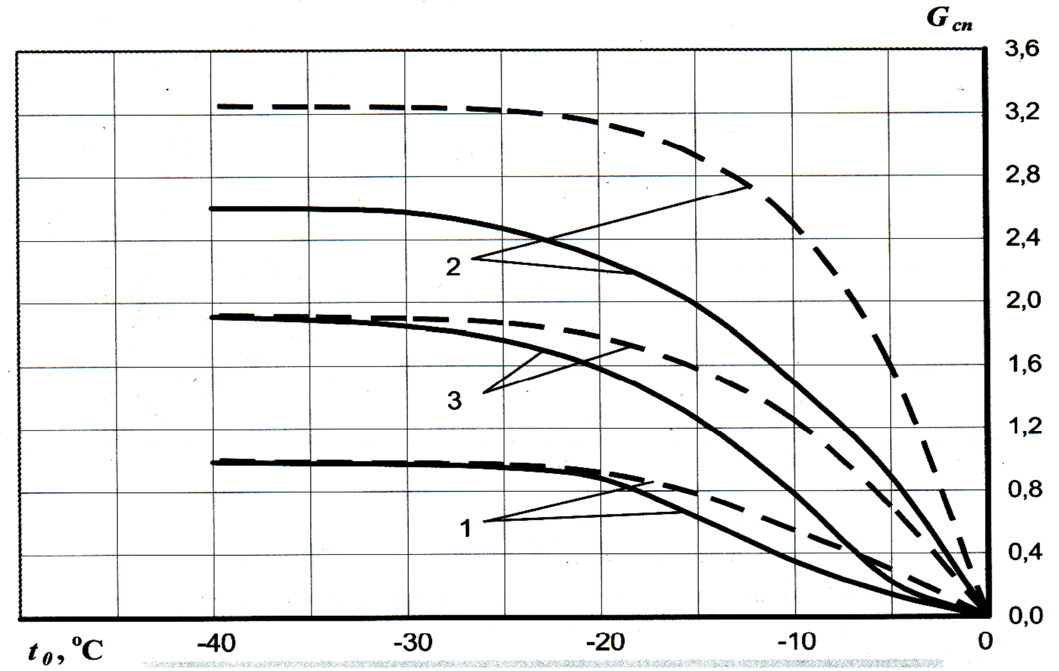


Рис. 4. Интегральные кривые гистограмм годовых расходов спирта в I и II климатических зонах РФ (сплошная линия — I климатическая зона, пунктир — II климатическая зона): 1 — спиртоиспаритель с регулируемым расходом спирта; 2 — спиртоиспаритель без регулирования расхода спирта; 3 — спиртоиспаритель с импульсным регулированием расхода спирта

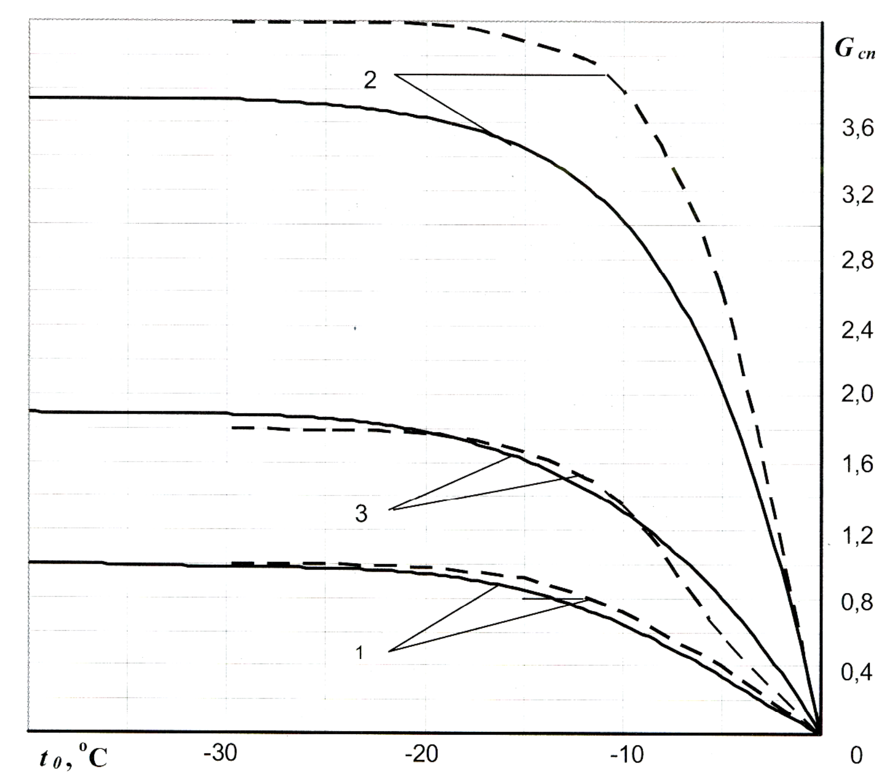


Рис. 5. Интегральные кривые гистограмм годовых расходов спирта в III и IV климатических зонах РФ (сплошная линия — III климатическая зона, пунктир — IV климатическая зона): 1 — спиртоиспаритель с температурным регулированием расхода спирта; 2 — спиртоиспаритель без регулирования расхода спирта; 3 — спиртоиспаритель с импульсным регулированием расхода спирта

По оси ординат на графиках отложены расходы спирта в относительных единицах, причём за единицу приняты расходы испарителя с регулированием его производительности в функции температуры атмосферного воздуха (кривые 1). Кривые 2 показывают расход спирта аппаратами, устанавливаемыми в настоящее время на электровозах. Из сравнения кривых 1 и 2 следует, что существующие спиртоиспарители неэкономичны: расход спирта выше необходимого примерно в 2,6 раза для I климатической зоны; в 3,25 раза — для II; в 3,6 — для III, в 4,2 — для IV. Таким образом, применение регулирования производительности аппарата позволит значительно сэкономить спирт.

Реализация плавного регулирования производительности спиртоиспарителя в функции температуры атмосферного воздуха представляет определённые технические сложности. Значительно более простой представляется схема с периодической подачей спирта в сжатый воздух.

Сущность способа заключается в том, что в течение определённого числа циклов включения-выключения компрессора спиртоиспаритель включён. При этом в магистраль поступает спирт, количество которого превышает минимально необходимое при данной температуре атмосферного воздуха. В последующей серии запусков компрессора аппарат выключен, а конденсирующаяся влага смешивается с уже имеющимся в магистрали спиртом, образуя при этом водноспиртовой раствор, концентрация которого постепенно уменьшается до минимально допустимого для данных температурных условий окружающей среды.

Наиболее целесообразно применять такую схему регулирования в диапазоне температур от 0 °С до минус 5 °С, в котором нерегулируемый аппарат допускает большие перерасходы спирта.

Расчёты показывают, что применительно к пневматической схеме электровозов и при работе компрессора с продолжительностью включения, равной 33 %, такая схема реализуется при включении спиротоиспарителя в работу через каждые четыре цикла включения-выключения компрессора.

Рисунки 4 и 5 показывают, что годовые расходы спирта в рассматриваемом случае несколько превышают теоретически необходимые, но экономия спирта остаётся весьма существенной. Для I климатической зоны расходы спирта испарителем с импульсным регулированием сокращаются по сравнению с нерегулируемым примерно в 1,35 раза, для II — в 1,7 раза, для III — в 1,95, для IV — в 2,5 раза.

Заключение. Таким образом, применение спиртоиспаряющих установок возможно на магистральном подвижном составе железных дорог РФ, однако требует тщательного расчёта аппаратов-дозаторов, обучения поездной бригады локомотивов и квалифицированного персонала депо для обслуживания, профилактики и ремонта спиртовых установок.

Библиографический список

1. Стратегия научно-технического развития ОАО «РЖД» до 2015 года.

2. Справочник химика. — Москва-Ленинград: Госхимиздат, 1963. — Т. 1. — 1071 с.

3. Скогорев, И. В. Исследование дозаторов жидкости для предотвращения замерзания конденсата в пневматических магистралях электровозов / И. В. Скогорев, Ю. Н. Головач / Теплопередача и газодинамика. — 1976. — Т. 333. — Вып. 5. — С. 93—99.

4. Головач, Ю. Н. Исследование локомотивного спиртоиспарителя / Ю. Н. Головач, И. В. Скогорев, В. Г. Ушаков // Изв. Сев.-Кав. научн. центра высш. школы. Техн. науки. — 1976. — № 4. — С. 97—99.

5. Головач, Ю. Н. Устройства для подготовки сжатого воздуха на локомотивах: науч-иссл. отчёт / Ю. Н. Головач, И. В. Скогорев, А. А. Шарунин. — Новочеркасск, 1988. — 169 с.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

References

1. Strategiya nauchno-texnicheskogo razvitiya OAO «RZhD» do 2015 goda. — In Russian.
2. Spravochnik ximika. — Moskva-Leningrad: Gosximizdat, 1963. — T. 1. — 1071 s. — In Russian.
3. Skogorev, I. V. Issledovanie dozatorov zhidkosti dlya predotvrashheniya zamerzaniya kondensata v pnevmaticheskix magistralyax e`lektrovozov / I. V. Skogorev, Yu. N. Golovach / Teplo-peredacha i gazodinamika. — 1976. — T. 333. — Vy`p. 5. — S. 93—99. — In Russian.
4. Golovach, Yu. N. Issledovanie lokomotivnogo spirtoisparitelya / Yu. N. Golovach, I. V. Skogorev, V. G. Ushakov // Izv. Sev.-Kav. nauchn. centra vy`ssh. shkoly`. Texn. nauki. — 1976. — № 4. — S. 97—99. — In Russian.
5. Golovach, Yu. N. Ustrojstva dlya podgotovki szhatogo vozduxa na lokomotivax: nauch-issl. otchyot / Yu. N. Golovach, I. V. Skogorev, A. A. Sharunin. — Novocherkassk, 1988. — 169 s. — In Russian.

MOISTURE CRYSTALLIZATION RISK REDUCTION IN PNEUMATIC SYSTEMS THROUGH SPIRIT INSTALLATIONS APPLICATION

L. F. Ripol-Saragosi
(Rostov State Transport University)

The issues on the elimination mechanisms of the rolling stock pneumatics overfreezing using antifreezes are considered. The construction solutions are analyzed. The most acceptable solutions are suggested.
Keywords: *compressed air, rolling stock, spirit evaporator.*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 81'37

Заимствования в спортивный жаргон: опыт контрастивного анализа (на материале английского и русского языков)

А. А. Елистратов
(Челябинский государственный университет)

Рассматриваются основные типы заимствований в английский и русский спортивный жаргон (сленг). Автор проводит контрастивный анализ лексического материала в двух аспектах — генетическом и структурном. В заключении подводятся итоги, отражающие общие и частные черты изучаемых жаргонов. Устанавливается зависимость характера заимствованных лексических единиц от социокультурных, географических и исторических факторов.
Ключевые слова: *заимствования, жаргон, сленг, спорт, этимология.*

Введение. Данная работа выполнена в рамках традиций современной социолингвистики и затрагивает ряд языковых черт спортивного социума. Исследование направлено на изучение субстандартной, сниженной части спортивного подъязыка — жаргона. Спортивный жаргон (сленг) нуждается в глубоком изучении не только по лингвистическим, но и по социальным причинам: утверждение об особом общественном статусе физической культуры и спорта давно стало трюизмом и не вызывает возражений. Лексикографическое описание русских и английских субстандартных спортивных лексических единиц позволяет осуществлять их глубокий лингвистический анализ, важную роль в котором играет сопоставление. Итогом сопоставительного (контрастивного) анализа могут стать ранее неизвестные лексико-семантические свойства английского и русского жаргонов, так же как социолингвистические данные об их мобильности, социальных корнях и социальных коллективах — носителях жаргона. Следовательно, работы в этом направлении являются актуальными.

Под спортивным жаргоном (сленгом) здесь понимается лексико-фразеологическая система спортивного социолекта. Сленг и жаргон употребляются в данной работе как синонимы. Тем не менее, отметим дифференцированность этих терминов. По своему происхождению сленг является английским словом и чаще всего употребляется по отношению к определённому компоненту субстандартной лексики английского языка. Для отечественной лингвистики более традиционным является употребление термина «жаргон» как части сниженного вокабуляра русского языка. Жаргон и сленг входят в социально-коммуникативную систему русского и английского языков, а именно — в состав их субстандартной лексической системы, что открывает возможности для их сопоставительного изучения. Такое изучение можно осуществлять в частности в отношении русского спортивного жаргона и английского спортивного сленга, которые представляют собой особые профессионально-корпоративные лексиконы для выражения понятий одной сферы деятельности — спорта.

Цель данной статьи — путём контрастивного анализа выявить общие и дифференциальные черты заимствований в спортивный жаргон (сленг) в английском и русском языках. Автором также применяются элементы этимологического и морфологического анализа. В работе рассматриваются только лексические и синтаксические заимствования.

Материалом исследования послужили лексические единицы, выбранные из словарей субстандартной лексики и спортивного жаргона. Материал на английском языке был получен из словарей Дж. Лайтера [1], [2], Э. Партриджа [3], Т. Торна [4], Х. Уэнтворта и Б. Флекснера [5]. Лексемы на русском языке были выбраны из словаря автора [6], из словарей Т. Г. Никитиной и Е. И. Рогалёвой [7, 8]. В работах англоязычных лексикографов зафиксированы двадцать восемь заимствований в спортивный сленг, тогда как анализ русскоязычных словарей выявил сто тридцать три заимствования. Этимологические данные берутся либо из указанных источников, либо из дополнительных лексикографических работ, цитируемых в тексте, либо из многоязычного онлайн-словаря Multitran.

В числе теоретических штудий по контрастивному изучению сниженной лексики, которые во многом послужили образцом для этой статьи, отметим монографии В. П. Коровушкина по контрастивной социолектологии и контрастивному описанию военного социолекта [9, 10, 11].

Направления, в рамках которых осуществляется достижение поставленной цели, подразумевают:

1) генетическую классификацию заимствований (установление языка-источника);

2) установление структурных особенностей заимствований по отношению к этимону.

Генетические типы заимствований. В сленге англоязычных спортсменов и прочих субъектов спортивной деятельности присутствуют заимствования из следующих языков:

1) из французского языка: **mitt, mit** [< *фр.* mitain(e)] ‵кисть руки′ (здесь и далее перевод наш — *А. Е.*). Французско-русский словарь классифицирует *mitaine* как арготизм со значением ‵боксёрская перчатка′ [11]. Однако Т. Торн возводит его этимологию к старофранцузскому слову *киса* («a pet name for a cat») либо искажённому латинскому *media* [4], которое, судя по всему, проникло в сленг бейсболистов и профессиональных боксёров через французское арго.

Другие примеры французских заимствований в английский спортивный сленг включают в себя: **gummie, gummy** [< *фр.* gommeux ‵пижон, хлыщ′] ‵щёголь — в общеспортивном сленге′; **to poach** [< *фр.* yeux pochés ‵мешки под глазами; синяк под глазом′] ‵в сленге боксёров — поставить синяк под глазом′; **parlay** [< *фр.* parler ‵говорить′] ‵играть на деньги на скачках и в случае выигрыша продолжить играть на первоначальную ставку и выигрыш′;

2. из голландского языка: **nag** [< *гол.* negge ‵лошадка′] ‵лошадь — в сленге любителей скачек′;

3. из латинского языка: **doss** [< *лат.* dorsum ‵спина; задний′] ‵в сленге кулачных бойцов — лежащий на спине′; **albonised** [< *лат.* albus ‵белый′] ‵в сленге кулачных бойцов — окрашенный в белый цвет′;

4. из цыганского языка: **dukes, dooks** [< *цыг.* ‵ладонь; кисть руки′] ‵в сленге кулачных бойцов — кулаки′. Для объективности следует указать на неоднозначность этимологии этого сленгизма, корни которого могут также лежать в рифмованном сленге: *Duke of York* < *fork* (‵вилка′, то есть кисть руки или палец), где *fork* выступает в качестве идентификатора рифмы, а *duke*, соответственно, является её сокращённым репрезентатором;

5. из итальянского языка: **labonza** [< *итал.* la pancia ‵брюхо, живот′] ‵в сленге боксёров — пузо, брюхо; зад, ягодицы′. Существует вероятность происхождения этого сленгизма из испанского языка: ср. *исп.* ‵la panza′ в том же значении, что и итальянский этимон;

6. из ирландского языка: **puss** [< *ирл.* puss ‵рот′] ‵в сленге боксёров — рот, лицо′;

7. из языков австралийских аборигенов: **barracking** [< *австрал.* borak ‵подшучивание; веселье′] ‵подшучивание, громкие насмешки в адрес своей или чужой футбольной или крикетной команды, которая не нравится зрителям′ > ‵шумно прерывать; высмеивать′. Впрочем, в создании этого слова могла принять участие лексическая единица *barrakin*, *barrikin* ‵тарабарщина; невнятная речь′ из диалекта кокни;

8. из идиш: **mazuma** ‵в спорте — деньги, особенно наличные′; **stumer, stumor, stumour, shtumer** ‵лошадь, против которой можно заключать пари на деньги без всякого риска′. Э. Партридж с осторожностью отсылает этимон к идиш, не исключая возможности его происхождения от шведского *stum* ‵тупой или немой′. Ещё более осторожно лексикографы говорят о происхождении лексем **oof** ‵в боксе — деньги; сила′ и **ooftish, offtish** ‵деньги, доступные для игры в азартные игры, развлечений или деловых спекуляций′. Происхождение этих сленгизмов выводится на основе народной этимологии из словосочетания идиш *auf tische* ‵на столе′;

9. из лингва франка: **ferricadouzer** ‵в боксе — нокаутирующий удар′. В данном случае лингва франка послужил посредником при заимствовании из итальянского лексических единиц *fare cadere* ‵сбить с ног′ + *dosso* ‵спина′;

10. из шелты, тайного креольского языка Ирландии: **mizzle, mis(s)le** [< *шелта* misli ‵удирать, скрывать′] ‵в боксе — умереть′;

11. из греческого языка, откуда английский спортивный сленг воспринял этимон *hoi polloi* ‵много′, значение которого модифицировалось в ‵множество, массы, простые люди′. Этимон стал основой для создания сленгимзов: **hoi** ‵самая слабая команда, сет или игра в регби′; **oips, hoips** ‵новички в футболе′; **polloi** ‵самая слабая футбольная команда или игра′;

12. из языка маори: **rah!** ‵боевой клич маори, взятый на вооружение новозеландскими командами регби′;

13. из гавайского языка: **kahuna** [< *гав.* ‵жрец, мудрец′] ‵опытный сёрфер′; из гавайского или маори: **wahine** [< *гав., маори* ‵женщина′] ‵девушка-сёрфингистка′;

14. из испанского языка: **beezer** [< beza < *исп.* cabeta ‵голова′] ‵в боксе — нос′. Х. Вентворт и Б. Флекснер упоминают, что для объяснения происхождения этого слова было предложено несколько этимологий, включая этимон из пекинского диалекта *pi-tyu* ‵нос′;

15. из скандинавских языков: **lug** ‵в боксе — лицо; челюсть′;

16. из немецкого языка: **blitz** [< *нем.* Blietzkrieg ‵молниеносная война′] ‵в американском футболе — защитный бросок на пасующего игрока′.

В целом подсчёты показали, что наибольшее число заимствований — девять лексических единиц — английский спортивный сленг воспринял из французского языка. Латинский язык, идиш и языки Полинезии дали начало трём заимствованиям. Из остальных языков было заимствовано по одной лексеме.

В жаргоне русскоязычных спортсменов зафиксированы заимствования из следующих языков:

1. из немецкого языка: **цукание** [< *нем.* zucken ‵подёргивать′] ‵в конном спорте — дёргание за повод с целью наказать лошадь′;

2. из французского языка: **бур** [< *фр.* bourrer ‵поколотить′] ‵в цирковой борьбе — настоящая, жёсткая борьба в противовес борьбе театральной, фиктивной′;

3. из английского языка: **бутчер** [< *англ.* mad butcher ‵безумный мясник′] ‵болельщик или фанат ф/к «Спартак» (М) из группировки «Безумные мясники»′; **гуфи** [< *англ.* goofy ‵рехнувшийся′] ‵сноубордист-правша, то есть катающийся правой ногой вперёд′;

4. из норвежского языка: **гагена** ‵хоккейные коньки′ по названию норвежской фирмы «Хааген», их производившей;

5. из испанского языка: **инчас** [< *исп.* hinchas ‵болельщик′] ‵болельщик ф/к «Реал» (Испания)′;. **эстадио** [< *исп.* estadio ‵стадион′] ‵стадион′;

6. из бразильского варианта португальского языка: **торсида** [< *порт.* torcida ‵болельщики′] ‵большая группа футбольных фанатов′; **фолья сека** [< *порт.* folha seca ‵сухой лист′] ‵удар «сухой лист» в футболе′;

7. из грузинского языка: **ара!** [< *груз.* ара 'послушай'] 'обращение футбольных болельщиков к игрокам из Армении // просьба к армянскому игроку сделать передачу мяча'. Грузинская этимология предложена В. С. Елистратовым [6]. Возможно происхождение от сокращённого названия армянина;

8. из латинского языка: **флюид** [< *лат.* fluidus 'текучий, струящийся'] 'старинное собирательное название жидких смесей различного состава для растирания мышц, сухожилий и суставов лошади в профилактических и предупредительных целях';

9. из африканских языков: **бафана-бафана** [< *зулу* 'мальчики, парни'] 'футбольная сборная команды ЮАР'; **мукунка** [< *конго* 'ругательство'] 'африканский футболист-легионер'.

Наибольшее число заимствований русский спортивный жаргон адаптировал из английского языка — девяносто девять лексических единиц. Из итальянского языка было заимствовано девять слов и словосочетаний, из немецкого — пять, из французского и португальского — четыре, из африканских и скандинавских языков — два. Остальные языки послужили источниками одного заимствования.

Типы заимствований по отношению к этимону. Попадая в язык-реципиент, линейная структура этимона подвергается воздействию со стороны чуждой фонетической системы. Итогом такого воздействия могут стать поверхностные или глубокие изменения в форме заимствованной лексической единицы. По отношению к этимону заимствование может сохранить свою структуру, просто приспособившись к существующим в языке-рецепторе фонетическим нормам, или изменить её под влиянием разнообразных фонетических и морфологических процессов, обрести структурную отмеченность.

Заимствования, сохранившие структуру этимона. Заимствуемая лексическая единица может обладать или не обладать особой структурной отмеченностью (маркированностью). Структурная отмеченность чаще всего сопровождает субстандартные лексические единицы и проявляется в особых, не свойственных нормированному языку формальных, звуковых или морфологических, свойствах линейной структуры этимона.

1. Этимон — непроизводное структурно неотмеченное слово: **puss** [< ирл. *puss* 'рот'] 'рот, лицо'; **квалифай** [< англ. *qualify* 'квалифицировать'] 'теннисист, пробившийся из отборочного турнира в основной'.

2. Этимон — производное структурно неотмеченное слово (префиксальное, суффиксальное, сложное) в языке-источнике: **скарфер** [< англ. *scarf* 'шарф' + суффикс *-er*] 'футбольный фанат, носящий фанатский шарф'; **рибаундер** [< англ. *rebound* 'отскок' + суффикс *-er*] 'игрок, подбирающий мяч, отскочивший от щита'; **шингерды** [< англ. *sheen + guards* 'щитки'] 'щитки футбольного вратаря'.

3. Этимон — структурно отмеченное слово в языке-источнике; представлен сокращением-апокопой: **хуллз**, **хулс** [< англ. *hools* < *hooligans* 'хулиганы'] 'футбольные хулиганы'.

Заимствования, не сохранившие структуру этимона. С точки зрения структурных изменений этимона наиболее заметная маркированность сопровождает ремотивантные декомпозиты, в основе создания которых лежит фонетическая мимикрия, или уподобление заимствуемой лексемы слову либо выражению из языка-реципиента. Ремотивантные декомпозиты представлены в исследуемых лексико-фразеологических системах следующими словами: **Fiddler** (дословно 'скрипач; обманщик') [< фр. *Fille de I' Air*] 'кличка известной французской беговой лошади'; **Potato** (дословно 'картошка') [< фр. *Peut-être*] 'кличка известной французской беговой лошади'; **rat-trap** (дословно 'крысоловка') [< фр. *rattrappe-pedales* 'поймать педали'] 'тормоза на спортивном велосипеде'; **свинка** [< англ. *swing* 'свинг, размашистый боковой удар'] 'в боксе — удар в ухо' и др.

Структурные изменения этимона вызываются также деэтимологизацией (опрощением): **shack-per-swaw** [< фр. *chacun pour soi* 'каждый за себя'] 'в спортивных кругах Лондона — каж-

дый за себя’. Опрощение структуры этимона особенно очевидно при апокопе — конечном усечении лексической единицы: **Jupe** [< лат. *Jupiter Pluvius* ‘Юпитер — бог дождя’] ‘в спортивной журналистике — шутливое название бога дождя’; **суп** [< англ. *supporter* ‘болельщик, сторонник’] ‘суппортер, преданный футбольный болельщик’; **деф** [< англ. *defender* ‘защитник’] ‘защитник в футболе’.

Выводы. Классификация и обзор заимствований в русский и английский жаргоны спорта демонстрируют ряд общих и отличительных черт. Общими чертами являются заимствования из некоторых европейских языков: испанского, французского, немецкого, скандинавских. Заимствования из других языков показывают разницу между исследуемыми лексико-фразеологическими системами. Очевидно, что выраженные отличительные черты присутствуют у английского спортивного сленга. Они проявляются на количественном уровне: шестнадцать языков-источников против девяти в русском жаргоне, и на качественном: английский сленг вобрал в себя лексические единицы из малоизвестных и экзотических языков (*шелта*, *маори*, *идиш*). Причины таких глубоких различий кроются в социокультурных, экономических и географических контактах носителей английского языка с другими народами. Для Соединённых Штатов и Великобритании в разные моменты истории были свойственны экспансия и распространение своего влияния по всей планете, что неизбежно приводило к взаимодействию с иноязычными этносами. Кроме того, социумы этих стран, в особенности США, характеризуются этнической пестротой и культурным разнообразием, что находит выражение на языковом уровне.

Характер адаптированной лексики также определяется зависимостью некоторых видов спорта от географии. В английском сленге эта зависимость выражается, например, в сёрфинге, заниматься которым можно только в тёплых океанах. По этой причине жаргон американских и австралийских сёрферов адаптировал слова из языков аборигенов Гавайских островов и Новой Зеландии.

Число и характер заимствований определяет и уникальная позиция спорта как особого рода деятельности, вовлекающего в свой круг людей самых разнообразных интересов, образования, социального статуса и профессий. Так, например, латинское слово *doss* проникло в сленг кулачных бойцов из речи студентов и аристократов, среди которых кулачные бои были популярны в начале девятнадцатого века [4]. Наконец, при выявлении причин различий заимствований в изучаемых жаргонах следует учитывать историю исследования спортивного жаргона (сленга), связанную с историей зарождения и развития спорта в США, Великобритании и России. История английского спортивного сленга насчитывает несколько веков. Она уходит по меньшей мере в начало девятнадцатого столетия, хотя, к примеру, темпоральным маркером к этимону лексемы *nag* является 1400 год [4]. США и особенно Британия относятся к родоначальникам и популяризаторам многих видов спорта. Можно вспомнить, что командные спортивные игры уже около двухсот лет являются составной частью воспитания будущей английской элиты. С другой стороны, в России спорт стал обретать относительную популярность лишь в конце девятнадцатого — начале двадцатого века. Именно в этот период, если исходить из собранного нами лексического материала, возникли первые спортивные жаргонизмы. Кроме того, русский спортивный жаргон долгое время находился за пределами научных интересов отечественных языковедов. Большой объём источников, которые могут содержать спортивные жаргонизмы, до сих пор остаётся неизученным.

Отличительной чертой русского спортивного жаргона, по нашим наблюдениям, является значительное количество заимствований из английского языка. Появление Интернета способствует не только популяризации спорта, но и притоку англицизмов в спортивный словарь, как правило, через речь молодёжи. Молодые люди, увлекающиеся спортом, с лёгкостью воспринимают англицизмы и используют их либо для номинации реалий, не отражённых русской лексикой, либо как средство эпатажа, как моду. Приток англицизмов особенно затронул сленг отечественного

футбола: анализ словарей футбольного сленга [7, 8] выявил присутствие шестидесяти семи заимствований из английского языка и двадцать пять заимствований из других языков.

Контрастивный анализ показывает, что заимствования в спортивный жаргон в обоих языках претерпевают в целом стандартные структурные метаморфозы — фонетическую мимикрию, деэтимологизацию и усечения этимона. Дальнейшие исследования генетических типов заимствований и структурных изменений спортивных жаргонизмов сопряжены с поиском и описанием нового лексического материала.

Библиографический список

1. Lighter J. E. Historical Dictionary of American Slang / J. E. Lighter. — Vol. 1. A-G. New York: Random House, 1994. — LVIII, 1007 p.

2. Lighter J. E. Historical Dictionary of American Slang / J. E. Lighter. — Vol. 2. H-O. New York: Random House, 1994. — 736 p.

3. Partridge E. A Dictionary of Slang and Unconventional English / E. Partridge. — Eighth edition. — London: Routledge & Kegan Paul, 1982. — XXIX, 1400 p.

4. Thorne T. Dictionary of Contemporary Slang / T. Thorne. — London: A&C Black Publishers Ltd., 2007. — 513 p.

5. Wentworth H. Dictionary of American Slang / H. Wentworth, B. S. Flexner. — Second Supplemented Edition. — New York: Thomas Y. Crowell Publishers, 1975. — XVIII, 766 p.

6. Елистратов, А. А. Толковый словарь русского спортивного жаргона / А. А. Елистратов. — Челябинск: Изд-во Челябинского государственного университета, 2011. — 215 с.

7. Никитина, Т. Г. Футбольный словарь сленга / Т. Г. Никитина, Е. И. Рогалёва. — Москва: АСТ: Астрель, 2007. — 317 с.

8. Никитина, Т. Г. Словарь футбольного болельщика. Оле-оле-оле-оле!!! / Т. Г. Никитина, Е. И. Рогалёва. — Москва: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп», 2010. — 384 с.

9. Коровушкин, В. П. Основы контрастивной социолектологии: Монография: В 2 ч. / В. П. Коровушкин. — Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2005. — Ч. I. — 245 с.

10. Коровушкин, В. П. Основы контрастивной социолектологии: Монография: В 2 ч. — / В. П. Коровушкин. — Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2005. — Ч. II. — 284 с.

11. Коровушкин, В. П. Английский лексический субстандарт versus русское лексическое просторечие (опыт контрастивно-социолектологического анализа): Монография / В. П. Коровушкин. — Череповец, 2008. — 168 с.

12. Гак, В. Г. Новый французско-русский словарь / В. Г. Гак, К. А. Ганшина. — 4-е изд. — Москва: Рус. яз., 1998. — 1195 с.

13. Елистратов, В. С. Толковый словарь русского сленга / В. С. Елистратов. — Москва: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2007. — 672 с.

Материал поступил в редакцию 31.01.2012.

References

1. Lighter J. E. Historical Dictionary of American Slang / J. E. Lighter. — Vol. 1. A-G. New York: Random House, 1994. — LVIII, 1007 p.

2. Lighter J. E. Historical Dictionary of American Slang / J. E. Lighter. — Vol. 2. H-O. New York: Random House, 1994. — 736 p.

3. Partridge E. A Dictionary of Slang and Unconventional English / E. Partridge. — Eighth edition. — London: Routledge & Kegan Paul, 1982. — XXIX, 1400 p.

4. Thorne T. Dictionary of Contemporary Slang / T. Thorne. — London: A&C Black Publishers Ltd., 2007. — 513 p.

5. Wentworth H. Dictionary of American Slang / H. Wentworth, B. S. Flexner. — Second Supplemented Edition. — New York: Thomas Y. Crowell Publishers, 1975. — XVIII, 766 p.
6. Elistratov, A. A. Tolkovy`j slovar` russkogo sportivnogo zhargona / A. A. Elistratov. — Chelyabinsk: Izd-vo Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011. — 215 s. — In Russian.
7. Nikitina, T. G. Futbol`ny`j slovar` slenga / T. G. Nikitina, E. I. Rogalyova. — Moskva: AST: Astrel`, 2007. — 317 s. — In Russian.
8. Nikitina, T. G. Slovar` futbol`nogo bolel`shhika. Ole-ole-ole-ole!!! / T. G. Nikitina, E. I. Rogalyova. — Moskva: ZAO «OLMA Media Grupp», 2010. — 384 s. — In Russian.
9. Korovushkin, V. P. Osnovy` kontrastivnoj sociolektologii: Monografiya: V 2 ch. / V. P. Korovushkin. — Cherepovecz: GOU VPO ChGU, 2005. — Ch. I. — 245 s. — In Russian.
10. Korovushkin, V. P. Osnovy` kontrastivnoj sociolektologii: Monografiya: V 2 ch. — / V. P. Korovushkin. — Cherepovecz: GOU VPO ChGU, 2005. — Ch. II. — 284 s. — In Russian.
11. Korovushkin, V. P. Anglijskij leksicheskij substandart versus russkoe leksicheskoe prostorechie (opy`t kontrastivno-sociolektologicheskogo analiza): Monografiya / V. P. Korovushkin. — Cherepovecz, 2008. — 168 s. — In Russian.
12. Gak, V. G. Novy`j franczuzsko-russkij slovar` / V. G. Gak, K. A. Ganshina. — 4-e izd. — Moskva: Rus. yaz., 1998. — 1195 s. — In Russian.
13. Elistratov, V. S. Tolkovy`j slovar` russkogo slenga / V. S. Elistratov. — Moskva: AST-PRESS KNIGA, 2007. — 672 s. — In Russian.

BORROWINGS INTO SPORTS SLANG: CONTRASTIVE ANALYSIS EXPERIENCE (ENGLISH AND RUSSIAN LANGUAGES STUDIES)

A. A. Yelistratov
(Chelyabinsk State University)

Basic types of borrowings into the English and Russian sports slang are considered. The author conducts the contrastive analysis of the lexical material in both genetic and structural aspects. The conclusion includes the results revealing general and specific features of the slangs in question. The dependence of the borrowed lexical unit character on the sociocultural, geographical, and historical factors is established.
Keywords: *borrowings, jargon, slang, sport, etymology.*

УДК 008+1

Проблема жизни и смерти в культуре доиндустриального общества

А. С. Лычева
(Ростовский государственный экономический университет (РИНХ))

Рассматривается отношение к жизни-смерти в период Античности и в Средние века. Даётся сравнительный анализ данных исторических периодов. Автор излагает ряд причин, объясняющих сложившееся отношение к жизни и смерти в данных культурах.
Ключевые слова: *жизнь и смерть, Древняя Греция, боги, мифы и легенды, героизм, обычаи, кровная месть, смертная казнь, Средние века, «приручённая смерть», христианство, магические верования, христианская смерть, манихейство.*

Введение. Каждый человек рано или поздно задаётся вопросом о завершении своего жизненного пути. Люди — единственные существа, которые понимают конечность своего существования и могут размышлять по этому поводу. Человек воспринимает факт неизбежности собственной смерти не как отвлечённую истину, это пробуждает в нём сильное эмоциональное переживание, касающееся его внутреннего мира. Можно сделать несложный вывод: вопрос об отношении к жизни и смерти всегда интересовал людей. Актуальность данной темы обоснована тем, что с появлением массовой культуры (с конца XIX в. и в течение почти всего XX в.) отношение к смерти почти полностью утратило сакральный смысл, т. к. разворачивание современного «общества потребления» заставляет человека жить в основном сегодняшним днём, будучи «прикованным к настоящему, а не устремлённым к смерти», как считал Хайдеггер. Следовательно, современный человек тратит свою жизнь в основном на удовлетворение телесных потребностей, не рассматривая при этом свою смерть как вершину экзистенции. Отсюда, на наш взгляд, проистекает одна из составляющих современного кризиса, как человека, так и культуры.

Сама проблема жизни и смерти такая же древняя, как и человечество. Люди издавна задумывались о смерти. Со временем отдельные измышления становились племенными и родовыми верованиями, а позже и мировыми религиями. Практически во всех религиях и философских воззрениях существует идея загробной жизни. Большинство людей не согласны, что после физической смерти от человека «ничего не остаётся», хотя есть и такие. В истории человеческой цивилизации встречаются разнообразные представления о жизни и смерти. Отношение людей к данной проблеме меняется в зависимости от уровня социокультурного развития общества и его системы духовно-нравственных ценностей. Оценка феномена восприятия жизни и смерти в разные эпохи является важной проблемой, относящейся к вопросам мироздания. Обратившись к периоду Античности и Средневековья, мы увидим своеобразно сформированное и небезынтересное восприятие жизни-смерти.

Актуальность данной статьи заключается в том, что именно проблема жизни-смерти доиндустриального общества является субстанциональной, корневой для возникновения отчуждения человека, которое не исчезает с появлением индустриального и постиндустриального общества, а лишь обретает новые постмодернистские черты.

Проблема, поставленная в статье, такова: отношение людей к жизни и смерти в период Античности и в Средние века. При рассмотрении данной темы были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть общие черты и различия в данных исторических культурах в вопросе отношения к жизни-смерти;
- проследить изменения в отношении людей к жизни-смерти и их причины в периоды Античности и Средневековья.

Основная цель данной работы — проведение сравнительного анализа отношения к проблеме жизни и смерти в период Античности и Средневековья, т. к. именно этот период вызывает глубокий теоретический интерес, поскольку представляет собой переход от одной эпохи к другой, от одной цивилизации к другой. Это тем более интересно с точки зрения науки, потому что сегодня человечество находится в периоде сложнейшего перехода от индустриального общества к постиндустриальному и дальше.

Античность: понимание жизни и смерти. В Древней Греции каждое явление, происходящее в общественной жизни, играло значительную роль в миропонимании людей, в их отношении к жизни и смерти. Жизнь умершего, в соответствии с мировоззрением древних греков, продолжается. Только не на земле, а в царстве мёртвых, Аиде.

Древние греки верили, что царство мёртвых находится под землёй и властвует в нём мрачный брат Зевса-громовержца — Аид со своей женой, Персефоной. Человек, живя на земле, постоянно ощущал связь со смертью. Стремление преодолеть смерть не только не имеет успеха, но и карается богами: сын Аполлона, Асклепий, пытавшийся воскрешать людей, был поражён молнией Зевса. Орфей безуспешен в своей попытке вернуть к жизни любимую супругу Эвридику. Смерти бесполезно сопротивляться. Поэтому безропотно принимает смерть знающий о ней Ахилл, как и многие другие герои. Смерть — итог каждого человека, конечный путь.

Жизнь не принадлежит человеку. Древние греки называли людей эфемеридами, т. е. однодневками. Люди ничего не могут противопоставить силе богов, управляющих миром. Жизнью людей распоряжаются боги. Но, несмотря на это, греки полагают, что человек должен жить во имя людей и, если понадобится, обязан принести свою жизнь на алтарь победы. «Со щитом или на щите» — так напутствовали воинов спартанки. Возникает вопрос: если желания человека не соответствуют желаниям общества, может ли он сопротивляться коллективной воле?

Вот один из мифов Древней Греции. Отправившись в Трою за Еленой, ахейцы застряли в Авлиде: не было ветра, начался голод, мор. Прорицатель Калхас объясняет грекам причину: Артемида смилостивится лишь в том случае, когда за её любимую лань, убитую царём Агамемноном, будет отдана жизнь его дочери Ифигении. Агамемнон хотел спасти свою дочь, но все его попытки терпят неудачу. Когда вооружённые ахейцы решили принести Ифигению в жертву богине Артемиде, Ахилл, которому девушка была обещана в супруги, с мечом в руках бросился защищать её, но тут вмешалась сама Ифигения. Она объявила о своём нежелании противиться воле Артемиды и решила добровольно принять смерть ради общего дела [1, с. 272-273].

Можно сделать вывод: в миропонимании древнего грека интересы общества стоят выше интересов отдельного человека. Однако принятие смерти для пользы общества древние греки расценивают как героизм, поступок необычный.

По всей видимости, осознание невозвратимости человеческой жизни привело к появлению нового понятия — героизма. Учёные сходятся во мнении, что корень указанного слова близок к имени богини Геры, богини-охранительницы. Следовательно, герой — это защитник. Также это человек, который сознательно жертвует своей жизнью и интересами во имя людей. Т. е. именно потому, что люди начали понимать конечность своей земной жизни, они стали возвеличивать людей, которые решились отдать свою жизнь ради жизней других людей, их спокойствия и счастья. Появление героев, великих и неповторимых, приводит к пониманию индивидуальной жизни и смерти.

В античном обществе с его развитым товарным производством индивидуальная смерть становится предметом особого внимания. Общественные связи осуществляются через противопоставление и разделение индивидов. Индивидуальная жизнь отделяется от общественной, хотя и остаётся с ней неразрывно связанной. Поэтому физическая смерть рассматривается как некий рубеж, конец земного существования. Появляется новое отношение к смерти — её панически боятся и она может быть желанной.

Обычаи и традиции могут меняться. Но и сам человек начал переоценивать свои взгляды на некоторые представления о жизни. Например, у первобытных людей кровная месть считалась обязательной. Иначе душа неотомщенного человека не найдёт покоя. В Античности же понимание кровной мести не так однозначно. Обычаи и традиции какого-либо народа меняются довольно медленно и совсем незаметно для одного поколения, но это всё же происходит. Меняется мировоззрение, мировосприятие людей. В мифах и легендах Древней Греции можно увидеть, как изменяется отношение героев и людей к кровной мести, они часто противятся этому обычаю. И иногда боги их поддерживают.

В V в. до н. э. в трудах античных драматургов, а именно Еврипида и Софокла, мы обнаруживаем осуждение кровной мести, которая расценивается как деяние, неугодное воле богов. Можно предположить, что к концу V века до н. э. появляется представление о ценности человеческой жизни. Возможно, подтверждением этому утверждению могут служить первые известные в истории дебаты о смертной казни, её необходимости или же ненадобности.

Античный историк Фукидид рассказывает о подобном. Во время Пелопоннесской войны, в 427 году до н. э., город Митилена, находящийся на острове Лесбос, восстал против Афин и перешёл на сторону противника. Афиняне захватили Митилену и в наказание за измену решили казнить мужчин, а женщин и детей отдать в рабство. Этот вопрос обсуждали на Народном собрании. При обсуждении выявились две противоположные точки зрения. Клеон, афинский политический деятель, настаивал на смертной казни для митиленцев. Он обосновывал это тем, что возмездие должно свершаться сразу же после преступления, иначе спустя некоторое время гнев пострадавшего смягчается и наказание уже не будет должным и строгим.

Философ Диодот возражал Клеону. Он полагал, что в силу своей натуры все люди совершают проступки, и никакой закон их не сможет удержать. Даже от такой меры наказания, как смертная казнь, преступления не уменьшились. Следовательно, надо либо придумать ещё более суровое наказание, либо признать, что никаким наказанием преступника не устрашить. В этом споре победителем стал Диодот, и Народное собрание проголосовало против смертной казни мужчин Митилены.

Некоторые учёные считают, что идея смертной казни выросла из кровной мести. В первобытном обществе род или племя должно было мстить за пострадавшего. В Античности это обязанность легла на государство. Но как мы видим из рассказа Фукидида, афиняне отказались от смертной казни.

Древнегреческая культура по праву считается одним из величайших творений человечества. Но до XIX века она воспринималась как совокупность мифов и легенд. Позже взгляды на процессы, происходящие в период Античности, в корне изменились. Оказывается, совсем не случайно в античной культуре проблема жизни и смерти считалась одной из смыслополагающих. В классический период философии Древней Греции были предприняты попытки преодоления страха смерти. Рассмотрим учение Платона, в соответствии с которым человек состоит из двух частей — смертного тела и бессмертной души. По мнению философа, смерть — процесс отделения души от тела, её освобождение из «темницы», где она вынуждена пребывать в земной жизни. Тело, согласно этому учению, после смерти превращается в прах и тлен, а душа через некоторое время вселяется в новое тело.

Другое отношение к смерти характерно для стоицизма и философии Эпикура. Стоики, стараясь облегчить страх смерти, рассуждали о её всеобщности и естественности, так как всё в мире имеет конец. Эпикур считал, что смерти не следует бояться, потому как человек со смертью не встречается. «Смерть не страшна сама по себе, ибо в момент явления её мы ничего не способны чувствовать, ни также после смерти, когда душа, как и тело, распадается; не остаётся решительно ничего. Наконец, смерть не отнимает ничего от жизни, ибо абсолютное совершенствование

наслаждения не предусмотрено в плане вечности» [2, с. 187]. Известно его утверждение: «Пока я есть, смерти нет, когда есть смерть, меня нет».

Древнегреческая философская традиция вскоре подошла к рассмотрению смерти как блага. Примером тому является Сократ. «Накануне казни Сократ признался своим друзьям в том, что он полон радостной надежды — ведь умерших, как гласят старинные предания, ждёт некое будущее. Сократ твёрдо надеялся, что за свою справедливую жизнь он после смерти попадёт в общество мудрых богов и знаменитых людей. Смерть и то, что за ней последует, представляют собой награду за муки жизни. Как надлежащая подготовка к смерти, жизнь — трудное и мучительное дело» [3, с. 200-201]. Сопоставляя отношение к жизни-смерти в первобытном обществе и Античности, мы видим более высокий и сложный уровень понимания этой проблемы у древних греков.

В общих чертах отношение к смерти в Античности было таковым: древние греки считали, что только после смерти можно достоверно понять не только судьбу, но и сущность человека. Смерть — конец, итог жизни любого существа. Именно смерти греки придавали огромное значение. Следовало не только достойно жить, но и достойно принять смерть.

Средние века: жизнь-смерть-бессмертие. В Средние века смерть считалась карой Господней за первородный грех Адама и Евы. В отличие от Древней Греции, в Средневековье смерть понимается однозначно. Она есть несчастье, зло. Но её можно преодолеть посредством веры в Бога и в то, что Иисус Христос спасёт мир, а праведники после смерти попадут в рай.

В Средневековье смерть становится важнее жизни, именно смерть, а не жизнь, приобретает культовое значение, смерть здесь и страшна — как час свершения Страшного Суда, и желанна — как избавление от лишений и страданий. После смерти исчезает социальное неравенство, человек освобождается от всего, что отягощает его земную жизнь. В смерти нет недостатков, присущих жизни, она даёт свободу, но свободу, неподвластную человеку, так как самоубийство является тяжким грехом. Выбора не остаётся: чтобы получить право на по-настоящему важную жизнь, т. е. жизнь после смерти, нужно терпеть все лишения и «нести свой крест». Смерть предстаёт как единственное оправдание жизни.

В раннем Средневековье смерть понималась как «приручённая». Она предстаёт как естественное и логичное завершение жизненного процесса. Человек зачастую предупреждён о приближающейся кончине посредством знамений, знаков или благодаря внутренней убеждённости: он готовится к смерти, ждёт её. Ожидание смерти представляет собой церемонию, которую организует сам умирающий: он созывает родственников, детей, друзей. Более того, посетить умирающего мог любой человек. Человек всегда умирал прилюдно [4, с. 49]. Ф. Арьес отдельно отмечает присутствие детей у постели умирающего, т. к. впоследствии, с развитием культуры и цивилизации, детей ограждают от всего, что связано с образом смерти. Ещё одна особенность «приручённой смерти» — чёткая граница между миром живых и миром мёртвых, что подтверждает факт вынесения мест захоронения за черту города.

В позднем Средневековье естественное отношение к смерти остаётся доминантным. Однако каждый человек перед лицом смерти вновь открывает свою индивидуальность. Эта связь утверждается в миропонимании человека позднего Средневековья и до сих пор остаётся в сознании людей западной культуры.

В Средневековье вместе с христианскими представлениями о жизни и смерти существует ряд традиционалистских, патриархальных идей. В основном это связано с сельскохозяйственной культурой и довольно устойчивым образованием, существовавшим многие века, несмотря на мощное воздействие христианской идеологии. Что представляет собой этот слой? Он включает в себя заклинания от смерти, заговоры о привлечении смерти на врагов, предсказания времени наступления кончины. Т. е. наследие «магической смерти», относящееся к эпохе патриархального общества. В некоторых странах можно выделить разные предсказания смерти. В Шотландии в

качестве предупреждения смерти выступают сны о захоронениях живых людей, в Германии предвестником кончины считают человеческую тень без головы на стене. В западном фольклоре значительную роль в предсказаниях смерти играют и животные: курица, поющая как петух, чёрный баран и т. п. Существуют также гадания: в Неаполе полагали, что смерть можно предсказать по определённым очертаниям кусочков воска, помещённого в воду, в Бретани гадали по брошенным в фонтан кускам хлеба с маслом.

Человек Средневековья был христианином, но одновременно по своему мировосприятию являлся язычником. Средневековые люди верили в Иисуса Христа, но их поступки часто выдавали в них язычников. Христианская вера и первобытные представления прекрасно уживались в их сознании. Вот любопытный пример.

Средневековый богослов Пётр Дамиани рассказывает, что горцы Умбрии (Италия) считали своего пастора святым. И вот однажды они узнали, что пастор собирается покинуть своих прихожан и переехать в другое место. Эта новость их чрезвычайно встревожила. Прихожане обсудили последствия такого поступка своего святого и пришли к выводу, что этого быть не должно, ведь они лишатся покровителя. И, чтобы сохранить покровительство пастора, прихожане решили его убить. Эти люди рассуждали, что мощи святого тоже способны творить чудеса и святой останется в их приходе. Прихожане считали пастора своей собственностью, а отношения со святым (живым или мёртвым) выстраивались на взаимопомощи и верности.

В процессе христианизации представления о смерти не были полностью лишены магических верований. Взаимодействие и взаимовлияние этих двух типов сознания продолжает углубляться и одновременно изменяться. Появляется новый образ христианской смерти — страсти Христа, а после и многих святых мучеников. Представления о загробной жизни меняются: изображения рая всё так же скудны и редки, тогда как образ ада представляет описание всех страхов, накопленных в народном сознании; возрастает также значение чистилища. Арьес считает, что структурирование отношений к загробной жизни отражает утверждение индивидуального морального сознания.

Никогда человек так не любил жизнь, как в период позднего Средневековья. Косвенное доказательство этому даёт история искусств. Человек испытывал искушение встретить смерть как неправедный скряга, надеявшийся забрать своё добро и на тот свет. Церковь предупреждала о возможности попасть в ад тех людей, которые слишком привязаны к земным богатствам. Однако даже в этой угрозе было кое-что утешительное: человек мог быть обречён на адские муки, но не лишён своих сокровищ. На портале в Муассаке есть изображение богача с кошельком в руке, неправедно нажившего свои богатства и потому попавшего в ад.

На картине Иеронима Босха «Смерть скупца» изображён умирающий, протягивающий руку к мешку с золотом, который подталкивает ему высунувшийся из-под полога бес. Возможно, человек эпохи Средневековья и в смерти не собирался расставаться со своим богатством: умирая, он хотел иметь его рядом с собой, ощупывать, держать в руках.

Люди Средневековья были так сильно привязаны к материальным благам, что противились даже мысли об исчезновении и уничтожении. Поэтому они особенно ценили изображение вещей, как бы дающее им новую жизнь. Это отражает искусство натюрморта — изображение неодушевлённых, неподвижных вещей, таких дорогих человеческому сердцу.

Вопрос об отношении к жизни и смерти всегда имел отношение к этике. Однако задолго до эпохи Средневековья появилась полярность отношений к миру между традиционным христианством и манихейством. Манихеи считали человеческую плоть, материальный мир злом, а Пустоту — благом. Христиане утверждали, что Божьи творения не могут быть злом.

Л. Н. Гумилёв пишет: «Самым простым выходом для манихеев было бы самоубийство, но они ввели в свою доктрину учение о переселении душ. Это значит, что смерть ввергает само-

убийцу в новое рождение со всеми вытекающими отсюда неприятностями. Поэтому ради спасения душ предлагалось другое: изнурение плоти либо аскезой, либо неистовым разгулом, коллективным развратом, после чего ослабевшая материя должна выпустить душу из своих когтей. Только эта цель признавалась манихеями достойной, а что касается земных дел, то мораль, естественно, упразднялась. Ведь если материя — зло, то любое истребление её — благо, будь то убийство, ложь, предательство... Всё не имеет значения. По отношению к предметам материального мира было всё позволено. То, что манихеи к концу XIV века исчезли с лица Земли, неудивительно, ибо они, по сути, к этому стремились. Ненавидя материальный мир, они должны были ненавидеть и саму жизнь, следовательно, утверждать они должны были даже не смерть, ибо смерть — только момент смены состояний, а антижизнь и антимир» [5, с. 498].

Эти суждения философов и некоторые исторические эпизоды заставляют задуматься над одной важной проблемой. Когда идея, выраженная в мудром учении, воплощается в жизнь? Проходит длительное время, пока общество согласится с мыслями философа о построении отношений между людьми. Тогда идея начнёт наполняться жизнью. Т. е. постепенно люди начнут в соответствии с признанной ими идеей строить общественную и личную жизнь. Так, например, происходил отказ от кровной мести. У многих современных народов о кровной мести можно прочитать лишь в памятниках культуры. Также многие современные государства отказались и от смертной казни.

Заключение. Осознавая конечность своего существования, человек вырабатывает собственное отношение к жизни-смерти. Эта важнейшая тема для каждого, занимающая центральное место в культуре человечества. Огромный философский, этнографический, исторический материал, накопленный учёными, позволяет изучать этот вопрос и делать определённые выводы. История мировой культуры содержит в себе извечную связь в понимании жизни и смерти. Люди всегда пытались разгадать таинство небытия и если не материально, то хотя бы духовно победить смерть.

Обобщив все изложенные данные и факты, можно подвести итоги:

- В Средневековье появляется отношение к смерти как к сложнейшему феномену, сутью которого является смерть греховного тела и, в свою очередь, бессмертие души.
- Также в Средние века появляется ярко выраженный страх перед смертью, вызванный необходимостью и неизбежностью Страшного Божьего суда.
- И средневековый человек, и древний грек относились к смерти как к завершающему этапу жизни, что, в свою очередь, в более поздние времена европейской культуры разовьётся в теорию экзистенциального отношения к жизни и смерти.

Библиографический список:

1. Кун, Н. А. Легенды и мифы Древней Греции / Н. А. Кун. — Москва: Просвещение, 1975.
2. Реале, Дж. Западная философия от истоков до наших дней / Дж. Реале, Д. Антисери. — Т. I. — Античность. — Санкт-Петербург: ТОО ТК «Петрополис», 1994.
3. Нерсесянц, В. С. Сократ / В. С. Нерсесянц. — Москва: Издательская группа ИНФРА-М — НОРМА, 1996.
4. Арьес, Ф. Человек перед лицом смерти / Ф. Арьес. — Москва: Прогресс, Прогресс-Академия, 1992.
5. Гумилёв, Л. Н. Этногенез и биосфера Земли / Л. Н. Гумилёв. — Москва: Айрис-пресс, 2007.

Материал поступил в редакцию 21.02.2012.

References

1. Kun, N. A. Legendy` i mify` Drevnej Grecii / N. A. Kun. — Moskva: Prosveshhenie, 1975. — In Russian.

2. Reale, Dzh. Zapadnaya filosofiya ot istokov do nashix dnej / Dzh. Reale, D. Antiseri. — T. I. — Antichnost`. — Sankt-Peterburg: TOO TK «Petropolis», 1994. — In Russian.

3. Nersesyancz, V. S. Sokrat / V. S. Nersesyancz. — Moskva: Izdatel`skaya gruppa INFRA-M — NORMA, 1996. — In Russian.

4. Ar`es, F. Chelovek pered liczom smerti / F. Ar`es. — Moskva: Progress, Progress-Akademiya, 1992. — In Russian.

5. Gumilyov, L. N. E`tnogenez i biosfera Zemli / L. N. Gumilyov. — Moskva: Ajris-press, 2007. — In Russian.

LIFE-DEATH PROBLEM IN CULTURE OF PRE-INDUSTRIAL SOCIETY

A. S. Lycheva
(Rostov State University of Economics)

Attitude towards life - death during the antiquity and in the Middle Ages is considered. The comparative analysis of these phases of history is given. The author presents a number of reasons to explain the established attitude towards life and death in the given cultures.
Keywords: *life and death, Ancient Greece, gods, myths and legends, heroism, customs, vendetta, death penalty, Middle Ages, "tame death", Christianity, magic faiths, Christian death, Manichaeism.*

УДК 172

«Инновационный хаос» в транзитивном обществе (социокультурный анализ)

О. М. Штомпель
(Южный федеральный университет)

Рассматриваются инновационные процессы в современном обществе с социокультурной точки зрения. Определены кризисные явления (такие, как архаизация культуры), возникающие в условиях «инновационного хаоса» в трансформирующемся социуме.
***Ключевые слова**: социокультурная инновация, инновационный кризис, модернизация, архаизация.*

Введение. «Инновация», «инновационное развитие», «гонка за новизной» и т. п. — понятия, которые активно используются в современной гуманитаристике для характеристики сущности цивилизационного развития в конце XX — нач. XXI вв. Правда, процессы инновизации общества рассматриваются, как правило, без учёта их культурной составляющей, в результате чего довольно часто становится непонятно: почему рационально и технологически верно задуманное новшество в ходе его реализации приводит к хаотизации социальной жизни.

Таким образом, основной целью данной статьи является определение социокультурной сущности инноваций как основного, в отличие от традиций, механизма развития общества конца XX — нач. XXI вв. и анализ на этой основе феномена «инновационного хаоса».

Основная часть. Современный социум втягивается в особую фазу развития, одной из характеристик которой становится всеобщая инновизация, отсюда и возникновение в теоретическом дискурсе нового термина — «инновационное общество». Само экономическое развитие порождает движение общества от традиционных ценностей к ценностям индивидуализации и самовыражения, что даёт мощный толчок к инновизации сознания и культуры [1].

В культуре инновационного социума перестают действовать социокультурные системы, жёстко детерминирующие жизнедеятельность индивида. Общество «виртуализируется» (Д. Иванов), институциональные связи «размываются» и, по мнению А. Турена, социум превращается из «институционально-регулируемого целого» в хаотическую «площадку» возникновения и развития конфликтов из-за достижения символических благ. Человек в этих условиях перестаёт быть лишь элементом социальной структуры и получает большую степень свободы в выборе индивидуальной траектории развития. В связи с этим усиливается роль культуры, которая из «охранительницы устоев» превращается в активный фактор социокультурного формообразования и обновления. Соответственно, возрастает и значимость духовного мира личности в социальной, политической и экономической динамике. Недаром в современных экономических исследованиях происходит отказ от концепции «экономического человека» к моделям человека «исторического», «психологического», «культурного» и т. п.

Цивилизационный сдвиг в глобальном развитии свидетельствует, в первую очередь, о том, что современная культура переориентировалась на перманентное обновление, на ценности инновационного развития. При этом «инновационный транс», в который погружается мир, свидетельствует о наступлении «эры кризисов», связанных с ускорением социокультурного развития, всё усложняющейся дифференциацией, непрерывной инновизацией различных сфер жизни общества — в результате утрачивается тождество человека с самим собой и единство социума. В итоге социальные, экономические и культурные подсистемы подвергаются постоянному изменению, следовательно, находятся в состоянии непрерывного кризиса.

Таким образом, современное общество, где базовым социокультурным механизмом производства и трансляции культуры является не традиция, а инновация во всех сферах жизнедеятельности человека, находится в состоянии бесконечной «гонки за новизной», в результате чего ситуация оказывается вполне адекватной диалектической формуле: «старое отживает, но ещё не отжило, а новое возникает, но ещё не возникло». Иначе говоря, социум конца XX — начала XXI вв. является перманентно кризисным, переходным, транзитивным и всё более рискогенным. Непрерывный процесс разрушения господствовавших в обществе старых, давно апробированных социальных практик, технологий, культурных норм, правил и способов поведения сопровождается возникновением новых, что неизбежно порождает кризисные явления.

Что же такое инновация с социокультурной точки зрения? Следует отметить, что становление сравнительно новой области междисциплинарных исследований — инноватики — явилось продолжением изучения проблем, волнующих специалистов различных областей знания уже не один десяток лет. Встреча европейской культуры и культур колонизируемых народов породила необходимость изучения их взаимодействия, в результате чего понятие «инновация» возникает в теоретических исследованиях философов, социологов и культурологов 2-й половины XIX века. Культурная инновация в их представлениях являлась важнейшей характеристикой взаимодействия культур, когда некоторые элементы европейской культуры инфильтровывались в традиционные культуры. Основным механизмом такого проникновения считали прежде всего механизм психологического взаимодействия.

В антропологии и этнографии термин «инновация» используется при исследовании процессов изменений в культуре, выступая как антоним термину «традиция». Особое внимание уделялось диффузии культурных новообразований в соответствующей среде, включая их перенос в иные культуры. Тем самым понятие инновации оказалось включено в контекст концепции диффузионизма, который пришёл на смену плоскому эволюционизму в трактовке изменений культуры. Подобные инновационные процессы трактовались как основные кросс-культурные факторы развития различных культурных образований (обрядов, языков и диалектов, социальных институтов, технологий и т. п.). Однако в первой половине XX в. под влиянием функционализма процессы изменений оказались на периферии внимания социальных наук на Западе. Инновации стали рассматривать как проявления неравновесий, напряжений в системе или же как отклонение от нормы, служащее источником новых напряжений.

В культурантропологии понятие «инновации» исследовалось прежде всего с методологических позиций эволюционной и неоэволюционной школы. После культурологов и социологов эстафету исследования проблемы инновации подхватили специалисты, изучающие технические нововведения.

После «великой депрессии» начала 30-х годов среди американских менеджеров становится популярным термин «инновационная политика фирмы». Содержание этого термина сводится примерно к следующему: фирма может получить преимущества на рынках сбыта и максимализировать прибыль не столько за счёт манипулирования ценами, сколько путём постоянного обновления своей продукции. В ответ на запросы практики в 30-е годы начинаются, а в 60—70-е годы получают на Западе большой размах эмпирические исследования нововведений, осуществляемых фирмами и другими деловыми организациями. Государство, в свою очередь, обнаружило понимание инновационности как одной из важнейших ценностей будущего. Особенно активно изучались социальные факторы инноваций в экономической сфере.

Во второй половине XX в. социокультурные и психологические факторы инновационного процесса стали исследоваться в различных областях жизнедеятельности социума (например, в образовании). Инновация стала рассматриваться в качестве механизма общего социального процесса изменения, в ней выделяют четыре основных элемента: «новшество», «новаторы», «агенты

диффузии», «эксперты», причём главная роль отводилась менеджерам, специалистам по внедрению. Господствовал технократический подход, ибо процесс инновизации осознавался как рациональный проект, «запускаемый» по схеме «сверху вниз». Рациональная обоснованность инновации считалась залогом её успешности.

Однако многочисленные случаи «инновационного хаоса», возникающего в ходе модернизационной инновизации, свидетельствуют о явной недостаточности технократического подхода к инновациям. Дело в том, что рыночная культура основана на принципах индивидуализма, прагматизма, универсализма. Человек в этой экономике рассматривается в качестве существа, действующего без участия сакральных сил, и созданные им вещи воспринимаются как его личная собственность. Здесь господствует безличная универсальная товарная форма обмена. Вещь, предназначенная для обмена, не содержит в себе сколько-нибудь скрытых особых символических значений, она обладает вполне ясно выраженной потребительской стоимостью. Обезличенность и рациональный подсчёт прибыли и потерь пронизывали собой товарные отношения.

В качестве примера инновизации социума с негативными результатами можно привести ситуацию, описанную американским культурантропологом Клакхоном, когда колониальные власти — из самых лучших модернизаторских побуждений — разрушили на Фиджи традиционную «экономику дара», однако рыночных отношений там так и не возникло. В результате относительно стабильное фиджийское общество стремительно деградировало и архаические элементы культуры стали регулировать социокультурную жизнь: «На Фиджи, например, престиж человека зависел от того, какой большой пир он может устроить и как много продуктов может отдать своему клану. Человеку не отказывали в том, что он просил, а даритель получал общественное одобрение. Так обеспечивался действенный соревновательный стимул и для производства, и для справедливого распределения пищи. Пытаясь вытеснить этот обычай призывами к бережливости и другими благонамеренными жестами, английские власти и миссионеры лишь подорвали местную экономическую систему. Население Фиджи теряло огромное число людей в эпидемиях, завезённых из Европы, на островах резко упал уровень рождаемости, доведённые до нищеты люди жили на пригоршню риса; и временами казалось, что фиджийцы обречены на вымирание» [2].

Рациональность западного человека — своеобразного максимизатора прибыли — благодаря глобальной экспансии рыночной экономики во все регионы мира универсализирует принципы менеджерской инноватики и некритически переносит их на специфическую культурную почву, что часто и приводит к хаотизации социокультурной жизни, разрушению традиции и возрождению архаики.

Экономическая рациональность — это рациональность предпринимателя, получающего прибыль экономическими методами, т. е. посредством механизмов рынка. Однако существовали и существуют общества, в которых предприниматель не являлся основным образцом, а в качестве эталона в культуре утверждался другой образец. В этом случае инновационно-предпринимательская рациональность не является основным типом рациональности, а присутствует в культуре как маргинальный тип. Экономический «империализм» в методологии — это стремление объяснить любое поведение с точки зрения «экономического человека», чьё поведение полностью укладывается в прокрустово ложе подсчёта баланса «приобретений и потерь». Такой подход стал возможен только потому, что в современном обществе рынок действительно распространяет свои правила поведения на всё сферы социума, в том числе такие, которые ранее регулировались с помощью иных норм.

С точки зрения М. Вебера, любой вид человеческой деятельности в сферах экономики, политики, религии, науки и т. д. ориентируется на свои особые ценности, а это означает, что в реальности никакой «чистой» рациональности не существует, но всегда есть фиксируемая индивидом рациональность «для чего-то», всегда есть выделенная цель-ценность и допустимые сред-

ства её достижения. Поэтому, к примеру, невозможно содержательное сравнение рациональности феодала и капиталиста, учёного и священника. Эти типы рациональности и типы социального действия можно выделить как определённый «идеальный тип» и с его помощью объяснять реальное поведение.

Для М. Вебера «неразумное» поведение Лютера, как и поведение Иисуса Христа, вполне разумно с точки зрения исповедуемой ими этики убеждения.

С социокультурной точки зрения в инновационном процессе участвует не абстрактный «экономический человек» со своей калькуляцией прибыли и потерь, а реальный индивид, обладающий уникальным сплавом различных типов рациональности, т. е. интериоризированных ценностей культуры. Отсюда и возникает необходимость формирования специфической социокультурной методологической парадигмы, позволяющей релевантным образом исследовать сложные, нелинейные социокультурные системы.

С этой точки зрения было бы серьёзной методологической ошибкой считать, что архаика относится исключительно к доцивилизационному этапу исторического развития и существует в настоящее время лишь в качестве некоего пережитка, не оказывающего сколько-нибудь заметного воздействия на постиндустриальный социум, на инновационное и глобализирующееся общество. Эта позиция, приобретшая для многих гуманитариев статус «само собой разумеющейся» научной истины, базируется на однолинейной, однозначно-прогрессивистской модели историко-культурного процесса (подвергшейся ещё со времён Боаса и его школы серьёзной критике) и концептуализируется в настоящее время в различных теориях модернизации — «догоняющей», «органической», «разнофазной» и т. д. Однако разворачивающаяся на наших глазах глобализация явно фиксирует возникновение целой сети устойчивых демодернизационных эффектов. Так, сетевая структура постиндустриального социума, о которой столь убедительно писал М. Кастельс, порождает и «своё другое», целые системные области доцивилизационого мышления и действия — здесь достаточно привести пример мирового терроризма, обладающего гибкой и глобальной сетевой структурой, широко использующего Интернет и одновременно воспроизводящего самые архаические формы исламского фундаментализма).

Глобализация во многих странах осуществляется через инновизацию, модернизацию, причём не органическую, а «догоняющую», и на этом пути возникают феномены, явно противостоящие современности. Речь идёт о процессах архаизации, возникающих в кризисном, переходном обществе, когда, если следовать диалектической традиции, старое качество разрушается, но ещё не исчезло, а новое возникает, но ещё не возникло. Разрушение господствовавших в обществе культурных норм, правил и способов поведения ведёт к обнажению старых, архаических пластов культурной жизни. Культура, как и природа, не терпит пустоты. По Й. Хейзинге, процесс «варваризации» означает, что более примитивные, архаические начала культуры выдвигаются на первый план и замещают культурный вакуум, возникший в ходе разрушения старых основ общественной жизни.

Для современной России проблема нововведений весьма важна в связи с тем, что на протяжении многих десятилетий она была втянута в различного рода инновационные эксперименты социального, политического, экономического и культурного характера. Всё это наложилось на общий мировой кризис глобального сообщества.

Если рассматривать кризис на постсоветском пространстве, то можно отметить и ситуацию архаизации непосредственно самого процесса производства, сложившуюся на множестве российский предприятий в середине 80-х гг. XX в.: «Если мы посмотрим на ситуацию изнутри предприятия, то обнаружим уже известную закономерность: распад социальной организации данного типа есть последовательность ступеней её демодернизации с сохранением наиболее архаичных организационных структур. Распад, как правило, начинается с отказа от ячеек и связей, обеспечива-

ющих модернизацию производства, потом следует отказ от систем, контролирующих выброс отходов в среду, затем — отказ от социальных инфраструктур, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность персонала, т. е. прекращение инвестиций в воспроизводство и накопление «человеческого капитала». Следующий шаг представляет собой селекцию персонала, сначала по «объективным» показателям (пол, возраст, квалификация, состояние здоровья), затем уже по критерию приближённости к управляющему клану. Наконец — отсечение целых производственных единиц или структурных подразделений. Всё это на начальном этапе стимулировало накопление энергии распада и её трансформацию в формы асоциального поведения» [3].

Итак, «экстремистская», неорганическая модернизация экономики неизбежно порождает архаику. Инновизация общества также парадоксальным образом может быть связана с его архаизацией. Модернизационный процесс в данном случае приводит к противоречивым результатам: вместо движения вперёд к более совершенному обществу возникает процесс возвращения к примитивным формам развития. Архаика, возникающая в ходе столкновения модернизации и традиции, проявляет себя в экономике, политической и культурной сферах и т. д. и становится важнейшим фактором формирования современного «духа времени».

Технократический подход к реализации новаций делает акцент на административной и информационной составляющих как основе инновационного процесса, что ведёт к забвению другой стороны социального творчества — ценностно-ориентационной, возбуждающей социальную энергию и активность человека. Оказывается, что одной только новой информации о новшестве для её реализации совершенно недостаточно. Для того чтобы данную информационную составляющую новации реализовать в социальной действительности, необходим иной уровень мотивации для субъектов данного процесса. Речь идёт о факторах прежде всего культурного и духовного плана, связанных с устойчивой идентичностью человека. Современное инновационное перепроизводство носит разрушительный характер, поскольку переизбыток поступающей извне информации о новациях, попытки их внедрения со стороны властных структур не находят эффективного использования в той или иной социальной подсистеме общества, что повышает уровень дезорганизации, поскольку не позволяет индивиду выстроить устойчивую систему ценностей и мотиваций. Подобное перепроизводство знаний, идей и новаций напрямую связано с процессом деидентификации, ибо не учитывает ценностный фактор в развитии человека и различного рода социальных институтов.

Инновационный общественный прогресс несёт в себе и новые источники разрушения устойчивой человеческой идентичности. Для успешной реализации инноваций в массовом масштабе необходимо освобождение человека в политическом и экономическом смыслах, установка на автономность развития, творческую свободу. Однако за всем этим таится опасность фрагментации человеческого сообщества, дезинтеграции социального поведения и целостности духовного развития. Отказ от трансцендентальности системы духовных ценностей, их утилитаризация, понимаемая в постмодернистском духе, ведёт к разрушению как духовного, так и экономического и политического пространств. Вакуум ценностей ведёт к тому, что создание образцов социального поведения оказывается прерогативой политических или духовных «манипуляторов», что ведёт к деидеализации социальных связей и отношений. Постмодернистская идеология в связи с этим утверждает игровой тип поведения, в котором главное место занимает подражание так называемой референтной группе. Жажда символического удовлетворения проявляется в следовании моде, успех становится главным идолом общественно-нравственной жизни социума. Отсюда именно прагматизм определяет мораль инновационного общества.

Выводы. Таким образом, современное общество, где базовым социокультурным механизмом производства и трансляции культуры является не традиция, а инновация во всех сферах жизнедеятельности человека, находится в состоянии непрерывной «гонки за новизной», в результате

чего ситуация оказывается вполне адекватной диалектической формуле: «старое отживает, но ещё не отжило, а новое возникает, но ещё не возникло». Иначе говоря, социум конца XX — начала XXI вв. является перманентно кризисным, переходным, транзитивным и всё более рискогенным. Этот социокультурный кризис, сопровождающийся непрерывным процессом разрушения господствовавших в обществе культурных норм, правил и способов поведения, может привести к обнажению старых, архаических пластов культурной жизни.

Библиографический список

1. Инглхарт, Р. Модернизация, культурные изменения и демократия: последовательность человеческого развития / Р. Инглхарт, К. Вельцель. — Москва: Новое изд-во, 2011.

2. Клакхон, К. К. М. Зеркало для человека. Введение в антропологию / К. К. М. Клакхон. — Санкт-Петербург: ЕВРАЗИЯ, 1998. — С. 221.

3. Яницкий, О. Н. Россия как «общество риска»: контуры теории / О. Н. Яницкий // Россия: трансформирующееся общество / Под ред. В. А. Ядова. — Москва: Канон-Пресс-Ц, 2001. — С. 41.

Материал поступил в редакцию 02.03.2012.

References

1. Inglxart, R. Modernizaciya, kul`turny`e izmeneniya i demokratiya: posledovatel`nost` chelovecheskogo razvitiya / R. Inglxart, K. Vel`cel`. — Moskva: Novoe izd-vo, 2011. — In Russian.

2. Klakxon, K. K. M. Zerkalo dlya cheloveka. Vvedenie v antropologiyu / K. K. M. Klakxon. — Sankt-Peterburg: EVRAZIYA, 1998. — S. 221. — In Russian.

3. Yaniczkij, O. N. Rossiya kak «obshhestvo riska»: kontury` teorii / O. N. Yaniczkij // Rossiya: transformiruyushheesya obshhestvo / Pod red. V. A. Yadova. — Moskva: Kanon-Press-Cz, 2001. — S. 41. — In Russian.

"INNOVATION CHAOS" IN TRANSITIVE SOCIETY (SOCIOCULTURAL ANALYSIS)

O. M. Shtompel
(Southern Federal University)

Innovation processes in the modern society are considered from the sociocultural point of view. Some crisis phenomena (such as archaicism of culture) occurring under the "innovation chaos" conditions in the changeable socium are defined.

Keywords: *sociocultural innovation, innovative crisis, modernization, archaicism.*

УДК 159.955

Образ мира и когнитивная карта как способы описания мыслительной деятельности

Д. Ф. Даутов
(Донской государственный технический университет)

Приводятся результаты теоретического исследования понятий «образ мира» и «когнитивная карта». Выделяются и описываются основные их составляющие. Даётся качественный анализ полученных данных.
Ключевые слова: *образ мира, когнитивная карта, мыслительная деятельность.*

Введение. Мыслительная деятельность является динамической структурой, в которой между объектом и предметом существует особая связь, обеспечивающая переход от субъекта к объекту и наоборот. Такого рода взаимосвязь позволяет рассматривать мышление как открытую систему, испытывающую влияние не только представленного процесса и личностных качеств человека, но и психологической ситуации, в которой он действует, субъективного отражения действительности. Носителями этой взаимосвязи могут являться такие феномены психической жизни, как образ мира или когнитивная карта.

Целью настоящей работы является рассмотрение на теоретическом уровне понятий «образ мира» и «когнитивная карта» как способов описания мыслительной деятельности.

Понятие «образ мира». В отечественной психологии при описании мышления, как правило, пользуются понятием «образ мира», под которым А. Н. Леонтьев понимал построение многомерной картины реальности. А. Н. Леонтьев считал исследование образа мира основной проблемой всей психологической науки.

По его мнению, любое внешнее воздействие вызывает изменение образа мира в целом, а не только той части, которая непосредственно взаимодействовала с этим воздействием. Таким образом, мышление — это один из уровней деятельности во взаимодействии человека с миром, и сам процесс мышления, исходя из концепции, являет собой вписывание этого воздействия в образ мира при решении мыслительных задач [1].

Более развёрнутое определение этого термина было предложено последователями А. Н. Леонтьева, такими как С. Д. Смирнов, В. В. Петухов и Б. М. Величковский. Образ мира в их интерпретации можно определить как многоуровневую систему представлений человека о мире, других людях, себе и своей деятельности, которая возникает и эволюционирует как целостное интегральное образование познавательной сферы личности, не отожествляемое с самой личностью [2, 3].

По своему строению образ мира делится на поверхностные и ядерные слои. Идея стратификации принадлежит С. Д. Смирнову [2] и получила своё развитие в работах таких исследователей, как В. В. Петухов, А. П. Стеценко, В. Е. Клочко, О. М. Краснорядцева и др.

Ядерные структуры образа мира включают в себя отражение деятельности человека и свойств предметов, открываемых в её процессе, т. е. сверхчувственных качеств предметов и сущностных характеристик. Поверхностные слои — это «чувственно оформленная картина внешней реальности» [2]. В. В. Петухов делает важное уточнение в этом определении. Поверхностный слой — это представление о мире, ядерный слой — представление мира [3].

В этом смысле ядерные структуры можно определить как основу существования человека в качестве сознательного существа, которая воссоздаёт его реальные связи с окружающим миром

в виде психических образов и не зависит от рефлексии по поводу их существования. Поверхностные структуры связаны с познанием мира через построение определённых представлений о нём.

Дальнейшую разработку структурных компонентов образа мира продолжила Е. Ю. Артемьева, в концепции которой были выделены уже три слоя [4].

Первый слой — это перцептивный мир, где модально представлены образы предметов, которые составляют поверхностные элементы образа мира.

Второй — это слой амодальных структур, которым соответствуют ядерные глубинные структуры.

Третий — это промежуточный слой, являющийся переходным между поверхностными и ядерными слоями.

По мнению А. К. Белоусовой, такое деление образа мира на слои «говорит о возможности существования некого переходного слоя, в котором осуществляется перенос специфики модальных восприятий в амодальный образ мира» [5].

При этом Е. Ю. Артемьева через введение ещё одного компонента выстраивает соответствие образа мира на микроуровне, мыслительному процессу на макроуровне, где переходному слою образа мира соответствует сам образ мира, как передаточное звено между объектом и субъектом мышления [4].

Предпринимая попытку решения дихотомии субъективно-объективного, В. Е. Клочко пошёл по принципиально иному пути. В своей теории он отходит от традиционного понимания образа мира. Согласно этой теории, человек понимается как психологическая система, в которой можно выделить следующие компоненты: «субъективную компоненту (образ мира, составляющий для человека его действительность), деятельную компоненту (образ жизни человека и его действительности) и саму действительность — многомерный мир человека, онтологическое основание его жизни, определяющей сам образ жизни и определяемый ею» [6].

Таким образом, В. Е. Клочко показал целый слой психологической реальности, который существует между объектом и субъектом мышления, между миром и человеком. В этой психологической реальности кроме непосредственно образа мира его органичной частью является также и психологическая ситуация.

Развитию этих представлений послужила работа О. М. Краснорядцевой, направленная на выявление особенностей формирования образа мира в условиях реальных процессов познания. В работе прежде всего представлено уточнённое и переосмысленное соотношение устоявшегося в психологии мышления понятия «ценностно-смысловая структура» [7]. Это, по мнению О. М. Краснорядцевой, «есть особая характеристика (здесь и теперь) сектора действительности, а объективная предметная структура, которая является носителем ценностно-смысловой структуры, и есть то, что определяется понятием «психологическая ситуация» <…> Ценностно-смысловая структура… является и продуктом деятельности в каждый момент времени, и тем, что определяет дальнейшее движение процесса деятельности» [7].

Образ мира как составляющая единой психологической системы, в отличие от ценностно-смысловой структуры — это более стабильное и целостное образование. В этом плане ценностно-смысловая структура есть активная, «напряжённая» часть образа мира, часть действительности, «осмысленно переживаемая».

Перечисленные особенности образа мира, рассмотренные в рамках различных подходов, свидетельствуют о том, что он может выполнять функцию промежуточного звена в мыслительной деятельности, являясь при этом фундаментальным условием развития и реализации всех познавательных процессов.

Понятие «когнитивная карта». В зарубежной психологии для описания мыслительной деятельности используется целая группа феноменов, объединённых под общим названием — «когни-

тивная карта». Данное понятие имеет много общего с термином «образ мира», используемым в трудах отечественных психологов, однако есть и отличия.

Впервые когнитивная карта упоминается Э. Толменом в 1948 году. Понятие упоминается в связи с мыслительной активностью крыс при решении пространственных задач. Э. Толмен обратил внимание на то, что крыса, пройдя лабиринт в первый раз, в дальнейшем может безошибочно найти выход, даже если идёт к цели другим путём. Всё это, по мнению Э. Толмена, говорило о том, что на уровне психологического отражения животное сделало приблизительную схему пространства, которая помогает ориентироваться [8].

Его исследования были продолжены на уровне человеческого мышления в работе Р. Даунзам, Д. Стея, подробно описанной в книге И. Пригожина и И. Стэнгерс «Порядок из хаоса» [9], в которой изучались особенности решения пространственных задач человеком при ориентации в знакомой среде. В этом исследовании наравне с понятием «когнитивная карта» использовалось и другое — «психологическая карта». В общем виде психологическая карта — это структурированное и упорядоченное представление о реальности, делающее её более конкретной, но не сводимой к модельным стимулам.

В соответствии с представлениями авторов, психологическая карта личности как система имеет чётко выраженную структуру. Её начальный элемент представлен своеобразной схемой тела, называемой «вместилищем». Это понятие введено М. Джонсоном и развито С. Мильграмом, который занимался его исследованием в рамках концепции психологической карты. Вместилище — это когнитивная карта тела, выполняющая функцию включения в свой состав определённых объектов и их исключение из своего состава. М. Джонсон использует простую метафору для подтверждения своей теории: «Поле зрения понимается как вместилище, например вещи входят в поле зрения и выходят из него». По мнению М. Джонсона и С. Мильграма, схема вместилища внутренне значима в силу наличия у человека опыта взаимодействия со своим телом [10].

По мнению С. Мильграма, любой концепт множества в действительности вписывается во вместилище. Это означает, что вместилище является когнитивной картой меньшего размера в карте большего размера, представленной большими и сверхбольшими объектами типа города или государства [10]. Иерархия когнитивной карты представлена через её категоризацию. Э. Рош вместе с К. Мервис и другими своими коллегами выделила три иерархических уровня:

1) базовый уровень, где члены категорий когнитивной карты воспринимаются по сходным общим очертаниям;

2) нижележащий уровень, где категории базового уровня конкретизируются до своих прототипов;

3) вышестоящий уровень, где категории базового уровня абстрагируются до самых общих понятий [11].

Как видно из этой модели построения когнитивной или психологической карты, наиболее важным является базовый уровень, на основе которого происходит структурирование знания, усваиваемое человеком в процессе мыслительной деятельности.

Несколько иное представление о психологической карте встречается в работах С. Фоконье. По его мнению, психологическая карта как элемент мыслительной деятельности является частью более общего феномена, который получил название «ментальное пространство» [12].

Исходя из представлений С. Фоконье, психологическая карта — это субъективное представление действительности, окружающей человека, образ того, как человек запечатлевает окружающей его предметный мир. В дальнейшем события и явления окружающего мира посредством механизмов восприятия превращаются в субъективные образы. Эти образы: зрительные, слуховые, кинестетические, обонятельные — формируются в единую картину окружающей действительности, становясь тем самым своеобразным ментальным пространством субъекта.

Таким образом, теория психологических карт С. Фоконье включает: ментальные пространства и психологические карты, структурирующие это пространство. Ментальное пространство в этой теории представляет собой среду концептуализации и мышления. Исходя из этого, любому конкретному положению дел, находящемуся в стадии становления, соответствует определённое ментальное пространство. С. Фоконье предположил, что в мыслительных процессах, основанных на ментальных пространствах, используются следующие стратегии:

1. Устранение имеющихся в пространстве противоречий.
2. Максимально возможное увеличение общих базовых предпосылок для смежных пространств.
3. Перевод элементов, находящихся в центре внимания данного пространства, на задний план в будущих пространствах.

В теории психологических карт С. Фоконье ментальные пространства заменяют собой ситуации и возможные варианты их развития. Представленные стратегии позволяют ментальному пространству заменять возможные ситуации, то есть те варианты, которые потенциально возможны или реально реализуемы субъектами. В этом ментальные пространства С. Фоконье и психологическая ситуация В. Е. Клочко в некоторой степени похожи, с той разницей, что психологическая ситуация не выходит за пределы «здесь и сейчас».

Заключение. В целом основные положения, характерные для отечественных теорий, использующих понятие «образ мира», и зарубежных теорий, использующих понятие «когнитивная карта» (или, иначе, «психологическая карта»), сходны между собой, что в дальнейшем может привести к их объединению в рамках единой психологической теории. Во-первых, они являются продуктами взаимодействия мира и человека, при этом сами обусловливают особенности этого взаимодействия. Во-вторых, данные феномены существуют на границе между субъективным и объективным в мыслительной деятельности и не принадлежат ни одному из них. В этом смысле они составляют единое целое, где образ мира является более общим элементом, описывающим структуру, каркас мышления, а когнитивная карта — частным элементом, позволяющим более полно представить содержательную сторону этой структуры.

Библиографический список

1. Леонтьев, А. Н. Избранные психологические произведения: в 3 т. / А. Н. Леонтьев. — Москва: Педагогика, 1983. — Т. 2. — 517 с.
2. Смирнов, С. Д. Психология образа: проблема активности психологического отражения / С. Д. Смирнов. — Москва: МГУ, 1985. — 486 с.
3. Петухов, В. В. Образ мира и психологическое исследование познания / В. В. Петухов // Вестник Московского ун-та. — 1984. — № 4. — С. 13—21.
4. Артемьева, Е. Ю. Основы психологии субъективной семантики / Е. Ю. Артемьева. — Москва: Наука, Смысл. — 1999. — 406 с.
5. Белоусова, А. К. Самоорганизация совместной мыслительной деятельности / А. К. Белоусова. — Ростов-на-Дону: Изд-во РГПУ, 2002. — 360 с.
6. Клочко, В. Е. Самореализация личности: системный взгляд / В. Е. Клочко, Э. В. Галажинский. — Томск: Изд-во ТГУ, 2000. — 317 с.
7. Краснорядцева, О. М. Психологические механизмы возникновения и регуляции мышления в реальной жизнедеятельности: автореф. дис. … д-ра психол. наук / О. М. Краснорядцева. — Москва, 1996. — 302 с.
8. Тихомиров, О. К. Психология мышления / О. К. Тихомиров — Москва: Академия, 2002. — 362 с.
9. Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стэнгерс. — Москва: Прогресс, 1986. — 240 с.

10. Мильграм, С. Эксперименты в социальной психологии / С. Мильграм. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. — 280 с.
11. Рош, Э. Проблемы категоризации / Э. Рош. — Москва: Просвещение, 1985. — 342 с.
12. Фоконье, С. Ментальные пространства / С. Фоконье. — Москва: Просвещение, 1991. — 493 с.

Материал поступил в редакцию 30.03.2012.

References

1. Leont`ev, A. N. Izbranny`e psixologicheskie proizvedeniya: v 3 t. / A. N. Leont`ev. — Moskva: Pedagogika, 1983. — T. 2. — 517 s. — In Russian.
2. Smirnov, S. D. Psixologiya obraza: problema aktivnosti psixologicheskogo otrazheniya / S. D. Smirnov. — Moskva: MGU, 1985. — 486 s. — In Russian.
3. Petuxov, V. V. Obraz mira i psixologicheskoe issledovanie poznaniya / V. V. Petuxov // Vestnik Moskovskogo un-ta. — 1984. — № 4. — S. 13—21. — In Russian.
4. Artem`eva, E. Yu. Osnovy` psixologii sub``ektivnoj semantiki / E. Yu. Artem`eva. — Moskva: Nauka, Smy`sl. — 1999. — 406 s. — In Russian.
5. Belousova, A. K. Samoorganizaciya sovmestnoj my`slitel`noj deyatel`nosti / A. K. Belousova. — Rostov-na-Donu: Izd-vo RGPU, 2002. — 360 s. — In Russian.
6. Klochko, V. E. Samorealizaciya lichnosti: sistemny`j vzglyad / V. E. Klochko, E`. V. Galazhinskij. — Tomsk: Izd-vo TGU, 2000. — 317 s. — In Russian.
7. Krasnoryadceva, O. M. Psixologicheskie mexanizmy` vozniknoveniya i regulyacii my`shleniya v real`noj zhiznedeyatel`nosti: avtoref. dis. … d-ra psixol. nauk / O. M. Krasnoryadceva. — Moskva, 1996. — 302 s. — In Russian.
8. Tixomirov, O. K. Psixologiya my`shleniya / O. K. Tixomirov — Moskva: Akademiya, 2002. — 362 s. — In Russian.
9. Prigozhin, I. Poryadok iz xaosa / I. Prigozhin, I. Ste`ngers. — Moskva: Progress, 1986. — 240 s. — In Russian.
10. Mil`gram, S. E`ksperimenty` v social`noj psixologii / S. Mil`gram. — Sankt-Peterburg: Piter, 2001. — 280 s. — In Russian.
11. Rosh, E`. Problemy` kategorizacii / E`. Rosh. — Moskva: Prosveshhenie, 1985. — 342 s. — In Russian.
12. Fokon`e, S. Mental`ny`e prostranstva / S. Fokon`e. — Moskva: Prosveshhenie, 1991. — 493 s. — In Russian.

IMAGE OF THE WORLD AND COGNITIVE MAP AS METHODS OF COGITATIVE ACTIVITY DESCRIPTION

D. F. Dautov
(Don State Technical University)

The theoretical research on the "image of the world" and "cognitive map" concepts is resulted. Their basic constituents are identified and described. The qualitative analysis of the obtained data is given.
Keywords: *image of the world, cognitive map, cogitative activity.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 332.142.6

Окружающая среда в совокупности подсистем региональной экономики

Г. А. Бабков
(Ростовский международный институт экономики и управления),
А. Е. Сафронов
(Донской государственный технический университет)

Рассматриваются сущность, сочетания и взаимосвязи подсистем региональной экономики. В качестве базисной выделена подсистема окружающей среды. Выявлена совокупность показателей, характеризующих ту или иную подсистему. Из этой совокупности выделяются ключевые показатели, и на их основе осуществляется анализ экономик федеральных округов Российской Федерации и регионов Южного и Северо-Кавказского округов.
Ключевые слова: *подсистемы региональной экономики, федеральные округа, регионы, виды экономической деятельности, ключевые показатели, корреляционно-регрессионный анализ, группы, кластеры, полярные различия.*

Введение. Чёткое определение показателей, характеризующих наиболее проблемные процессы региональной экономики как сложной иерархической системы, представляется важной задачей. При этом необходимо осознавать место и роль окружающей среды в совокупности подсистем региональной экономики, исследовать и совершенствовать соответствующую аналитическую базу, что позволит более эффективно управлять экономическими процессами, в том числе оценивать и использовать природно-ресурсный потенциал.

Сущность, сочетания, взаимосвязи подсистем региональной экономики и выделение в качестве базисной подсистемы окружающей среды. Система — это сложное единое целое, совокупность элементов, относительно самостоятельных, но взаимосвязанных, находящихся в определённых отношениях и выполняющих конкретные функции в рамках единого целеполагания.

Региональная экономика является специфической социально-экономической системой, включающей десять взаимосвязанных подсистем, в рамках которых осуществляется воспроизводственная деятельность. Это подсистемы окружающей среды, производства товаров, производства услуг, инновационная, инвестиционная, финансово-бюджетная, потребительская, институциональная, управленческая и социальная [1].

Фундамент региональной социально-экономической системы — производственный сектор. Его состояние характеризуется данными подсистем производства товаров и услуг по различным видам экономической деятельности.

Воспроизводственный базис социально-экономического развития регионов — это тесно взаимосвязанные инновационная и инвестиционная деятельность. С одной стороны, инвестиции — необходимый элемент разработки инноваций, с другой — каждый инвестиционный проект, начиная от его обоснования и заканчивая реализацией, является специфически и индивидуально инновационным.

«Кровеносная» подсистема региональной экономики — финансово-бюджетная осуществляет валовое накопление основного капитала для последующих инвестиций, расходов на конечное потребление домашних хозяйств и государственное управление.

Социальная, институциональная и управленческая подсистемы региональной экономики формируют каркас и инфраструктуру территориальной организации общества, функционирование социума.

Между различными подсистемами и структурными элементами региональной экономики существует диалектическая взаимосвязь, характеризующаяся следующей цепочкой зависимостей. Инновационно-инвестиционная составляющая во многом определяет производство валового продукта, обеспечивающего расходы на конечное потребление домашних хозяйств и государственное управление (после вычета промежуточного потребления, включающего оплату труда наёмных работников). В рамках валового сбережения формируется инвестиционный капитал с дальнейшим циклическим производством, распределением, обменом, потреблением и накоплением.

Территориальная организация общества, в рамках которой осуществляется воспроизводственная деятельность, рассматривается одновременно как явление и процесс. Первое — это иерархически взаимосвязанные административные районы как элементы пространственной системы расселения и социально-экономического устройства. Второе — относительно законченный цикл воспроизводства, с учётом целостности, определённой специализации и управляемости регионов.

Базисом территориальной организации общества является регион. Это локализованная и в определённых рамках самостоятельная часть социально-экономического комплекса страны. Она характеризуется специфическим пространством, определённой однородностью экономической и социальной структуры, природного и культурного ландшафта, системой критериев формирования и функционирования (географического, производственно-функционального, градостроительного и социологического).

С этих позиций в Российской Федерации выделяются, во-первых, макрорегионы (федеральные округа: Центральный, Северо-Западный, Южный, Северо-Кавказский, Приволжский, Уральский, Сибирский и Дальневосточный). Во-вторых — регионы. Это такие субъекты федерации, как Москва и Санкт-Петербург, области, края, национальные республики, автономная область и автономные округа. Далее — мезорегионы: территориально-производственные комплексы, промышленные узлы, а также особые зоны. Микро- и мини-регионы включают в себя разнообразные муниципальные образования (муниципальные районы и городские округа, городские и сельские поселения, сельские населённые пункты).

Территориальную экономику определяют правила ведения регионального хозяйства (совокупность используемых средств и осуществляемых процессов экономической деятельности с целью создания условий и производства благ, необходимых для жизнеобеспечения населения).

Любая система, в том числе региональная, имеет обязательные части. Первая — вход (ресурсы, их сочетание и специфическое воздействие на систему). Следующая — процесс (действия, операции, стадии, этапы, фазы, циклы, процедуры). Далее — выход (полученные продукты, результаты, с учётом критериев стабильности и надёжности). Для системы характерны собственная конструкция, определённая обособленность от внешней среды при взаимодействии с ней, упорядоченность, эмерджентность, синергизм, возможность развития.

Для региональной социально-экономическая система также характерна организованность, которая во многом определяется устойчивостью взаиморасположения, взаимосвязей и взаимодействия элементов, гибкостью и единством выполняемых ими функций, относительной простотой структуры, единством целеполагания.

Эффективность функционирования любой системы, в том числе региональной, связана с минимизацией энтропии. С позиций теории информации, под энтропией понимается степень неопределённости системы, в рамках теории систем — неорганизованность. Иными словами, речь идёт о количественных показателях беспорядка. С позиций информационно-энергетического обмена, присущего любым системам (в одних — это движение электронов, в других — движение

стоимости и т. п.), производимая энтропия характеризуется рассеянием энергии в процессе той или иной деятельности.

В замкнутых системах, изолированных от внешней среды, полученная энтропия перераспределяется внутри. В итоге система от временного беспорядка приходит к равновесию с возможностью циклических повторений этих этапов. В открытых системах производимая энтропия свидетельствует о количестве излишней «работы», бесполезных побочных процессов или явлений при достижении той или иной цели. Например, в экономической системе — это утечка капитала и инфляция; в финансовой — «мыльный пузырь», т. е. объём производных инструментов, не обеспеченный реальным продуктом; в экологической — загрязнение окружающей среды; в информационной — поток бесполезных сообщений (спам).

Структура открытых систем, в соответствии с теоремой лауреата Нобелевской премии И. Пригожина, должна стремиться к состоянию, при котором производство энтропии минимально. В противном случае внутренний беспорядок в системе возрастает до тех пор, пока избыток энтропии не будет перераспределён или сброшен в окружающую среду — иначе система проигрывает в конкурентной среде и распадается. Последний финансовый кризис — яркое проявление энтропийных процессов.

Каждая экономическая система — от трансконтинентальных и национальных до субъектов хозяйствования — имеет специфические структурные элементы в виде базовых подсистем. Как было отмечено ранее, в рамках региональной экономики это следующие подсистемы: социальная, окружающей среды, производства товаров, производства услуг, потребительская, институциональная, финансово-бюджетная, инновационная, инвестиционная, управленческая (рис. 1). Особое место занимают подсистемы окружающей среды, инновационная и инвестиционная. Это движители территориального развития, определяющие использование природно-ресурсного потенциала, а также объём, направление научных исследований и соответствующее увеличение суммы знаний, разработку и внедрение передовых производственных и информационно-коммуникационных технологий. Всё это в итоге обусловливает непрерывный воспроизводственный процесс на основе возрастающих потоков денежных средств, расширения основного и оборотного капитала.



Рис. 1. Совокупность и взаимосвязь подсистем региональной экономики в процессе воспроизводства

Функционирование и развитие *социальной подсистемы*, прежде всего, определяется влиянием управления и объёмами потребления (розничная торговля, общественное питание, платные услуги населению).

С социальной подсистемой в большей мере, по сравнению с другими структурными элементами региональной экономики, связаны *окружающая среда*, а также инновационная и инвестиционная подсистемы.

Крайне важно влияние инновационной и инвестиционной подсистем на *производство товаров* (добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды, сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство, строительство). А базис производства товаров — использование природно-ресурсного потенциала как важнейшего элемента окружающей среды.

Производство услуг (торговля и ремонт, транспорт и связь, образование и здравоохранение, гостиницы и рестораны, операции с недвижимым имуществом и др.) в большей мере связано с финансово-бюджетной, институциональной и потребительской подсистемами.

Потребительская подсистема, определяющая параметры обеспеченности населения товарами и услугами, тесно связана с финансово-бюджетной, институциональной сферами, с производством товаров и услуг.

Несколько иная ситуация характерна для *институциональной подсистемы*, работа которой во многом зависит от финансово-бюджетной и потребительской подсистем, а также от производства товаров и услуг.

Функционирование *управленческой подсистемы* детерминировано социальной, а также институциональной, финансово-бюджетной, производством товаров и услуг.

Функционирование *финансово-бюджетной подсистемы* во многом определяет деятельность сфер производства товаров и услуг, потребительской и институциональной подсистемами.

Инновационная и инвестиционная подсистемы демонстрируют характерные взаимосвязи между собой и с финансово-бюджетной подсистемой, что свидетельствует об их значимости для функционирования потребительской и институциональной подсистем, сфер производства товаров и услуг.

Для исследования подсистем региональной экономики разработана четырёхэтапная методика. Вначале проблема получает информационное обеспечение — выявляется и изучается система показателей, характеризующих ту или иную подсистему, из них выбираются ключевые.

На этой основе проводится анализ параметров и полярной асимметрии ключевых показателей по регионам, позволяющий выявить особенности формирования и функционирования подсистем региональной экономики — начиная окружающей средой и заканчивая социальной.

Важный аспект данной методики — экономико-математическое изучение взаимосвязей подсистемы окружающей среды (в рамках ключевых показателей) и других подсистем, с формированием совокупности регрессионных моделей, выявлением закономерностей соответствующих трансформаций.

На заключительном этапе исследования осуществляется сравнительный анализ функционирования подсистем региональной экономики по субъектам федерации (по восьми действующим федеральным округам).

Для реализации этой методики в разрезе субъектов федерации выбрана российская статистическая информация [2—4] по показателям, характеризующим ту или иную подсистему региональной экономики.

Подсистема *окружающей среды*, прежде всего, характеризуется параметрами природно-ресурсного потенциала и экологического риска [5], территорией, площадью сельскохозяйственных угодий, нормами температур и осадков января и июля, выбросами загрязняющих веществ и сбросами загрязнённых вод, плотностью автомобильных дорог.

Потребительская подсистема определяется денежными расходами населения на товары и услуги, региональным объёмом этих расходов, функционированием розничной торговли, обще-

ственного питания и сферы оказания платных услуг населению (с итоговым измерением объёмов и структуры потребительского рынка).

Финансово-бюджетная подсистема регионов характеризуется суммарным денежным потенциалом. Это доходы консолидированных бюджетов, банковские вклады субъектов хозяйствования и населения (в рублях и иностранной валюте, с пересчётом последней в рублёвый эквивалент).

Институциональная подсистема определяется общим количеством организаций и предприятий, с выделением среднего и малого предпринимательства, инновационных предприятий, с расчётами ряда относительных характеристик.

Социальная подсистема характеризуется общей численностью населения, (в том числе занятых в экономике), количеством и удельным весом безработных, а также денежными доходами населения, прежде всего среднедушевыми.

Тесно связанные *инновационная* и *инвестиционная* подсистемы определяются, с одной стороны, объёмом затрат на исследования, разработки, технологические инновации и общим объёмом инновационных товаров и услуг, с другой стороны — инвестициями в основной капитал и иностранными инвестициями.

Управленческая подсистема характеризуется численностью работников государственных органов и органов местного самоуправления, оборотом организаций и валовым региональным продуктом по виду экономической деятельности «Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование».

Для подсистем, определяющих *производство товаров и услуг*, важны показатели соответствующих оборотов организаций, трудовых и материальных ресурсов, а также валовых региональных продуктов (без учёта вида деятельности «Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование»).

Изучение информации по подсистемам региональной экономики за 2010 год, логический и качественный анализ, с учётом перекрёстной оценки тесноты связей (корреляции и детерминации) исследуемых показателей позволили выделить ключевые характеристики:

по подсистеме окружающей среды — ранги природно-ресурсного потенциала [5], по возрастанию от худших к лучшим;

по потребительской подсистеме — объём потребительского рынка, млн руб.;

по финансово-бюджетной подсистеме — суммарный денежный потенциал, млн руб.;

по институциональной подсистеме — количество предприятий и организаций;

по социальной подсистеме — среднедушевые доходы населения, тыс. руб./чел.;

по инновационной подсистеме — объём полученных инновационных товаров и услуг, млн руб.;

по инвестиционной подсистеме — объём инвестиций в основной капитал, млн руб.;

по подсистеме товарного производства — объём соответствующего валового регионального продукта, млн руб.;

по подсистеме производства услуг — объём соответствующего валового регионального продукта, млн руб.;

по управленческой подсистеме — объём соответствующего валового регионального продукта, млн руб.

Сравнительный анализ матрицы ключевых показателей по всем регионам Российской Федерации за 2010 год (ВРП за 2009 год — в связи с отсутствием данных по видам экономической деятельности) позволил выявить параметры и полярные различия исследуемых субъектов по каждому из показателей.

Самым высоким природно-ресурсным потенциалом обладают Красноярский край, Республика Саха-Якутия и Ямало-Ненецкий автономный округ, самым низким — Санкт-Петербург и Москва.

Самый высокий объём инвестиций в основной капитал характерен для Москвы (631 млрд руб.), Ханты-Мансийского автономного округа и Красноярского края (около 500 млрд руб.) при мизерных параметрах по республикам Ингушетия и Алтай (6,4 и 9,5 млрд руб.).

По объёму отгруженной инновационной продукции выделяются Республика Татарстан (161 млрд руб.), Самарская и Московская области (96 и 90 млрд руб.), тогда как в Ненецком автономном округе и Республике Калмыкия такая продукция не производится, а в Республике Ингушетия её объём составляет 1 млн руб.

Общая численность предприятий и организаций выше всего в Москве (1,16 млн ед.) и Санкт-Петербурге (374 тыс. ед.) при 1145 организациях в Ненецком автономном округе, 1356 организациях в Чукотском автономном округе.

С позиций денежного потенциала резко выделяется Москва (14748 млрд руб.), за ней следуют Московская область (2734 млрд. руб.) и Санкт-Петербург (2427 млрд руб.), тогда как в Еврейской автономной области и Чукотском автономном округе этот показатель не превышает 50 млрд руб.

Потребительская подсистема более развита наряду с Москвой (около 4 трлн руб.) в Московской области и Санкт-Петербурге (1,3 и 1,0 трлн руб.), при крайне низких характеристиках по Чукотскому и Ненецкому автономным округам (8133 и 7153 млн руб.).

Важной характеристикой функционирования социальной подсистемы являются среднедушевые денежные доходы населения. В Ненецком автономном округе этот показатель составляет 50,8 тыс. руб./чел., в Москве — 43,9 тыс. руб./чел., в Ямало-Ненецком автономном округе — 41,9 тыс. руб./чел. В республиках Ингушетия, Карачаево-Черкесия, Марий-Эл, Тыва среднедушевой денежный доход населения — порядка 10 тыс. руб./чел. Минимум отмечен в Республике Калмыкия — 7,5 тыс. руб./чел.

Базисной производственной подсистемой является производство товаров. Наряду с Москвой и Ханты-Мансийским автономным округом (1,5 и 1,3 трлн руб. ВДС в 2009 году) выделяются (ВДС порядка 500 млрд руб.) Московская область, Санкт-Петербург и Татарстан. В республиках Ингушетия и Тыва этот показатель — на уровне 6 млрд руб.

Подсистема производства услуг кроме Москвы (5,4 трлн руб.) также развита в Санкт-Петербурге и Московской области (908 и 888 млрд руб.), при крайне низких характеристиках республик Алтай и Тыва (7348 и 5841 млн руб.).

С позиций управленческой подсистемы, судя по объёмам валового регионального продукта по соответствующему виду деятельности, выделяются Тюменская область (69590 млрд руб.) и Красноярский край (46408 млрд руб.), тогда как по Республике Алтай и Еврейской автономной области данный показатель ниже 4 млрд руб.

Характеристика подсистем региональной экономики федеральных округов Российской Федерации по ключевым показателям в абсолютных параметрах и в нормализованной оценке (на основе соотношения абсолютных уровней со средними по округам) приводится в таблице 1.

Как показывают расчёты, природно-ресурсный потенциал Дальневосточного федерального округа более чем в 4 раза выше по сравнению с Центральным федеральным округом.

Другие характеристики демонстрируют худшие данные по Северо-Кавказскому федеральному округу, лучшие — по Центральному. Исключение — потребительский рынок (последнее место занимает Дальневосточный округ).

Полярные различия между округами составляют: по инвестиционной активности — 6,6 раз, по объёмам инновационной продукции — 10,5 раз, по численности предприятий и организа-

ций — 14,4 раза, по денежному потенциалу — 11,5 раз, по потребительскому рынку — 7,5 раз, по среднедушевым доходам населения — 1,85 раза, по ВРП производства товаров — 10,7 раз, по ВРП сферы услуг — 18,7 раза, по управленческой подсистеме — 7,2 раза.

Таблица 1

Ключевые характеристики подсистем макрорегиональной экономики РФ

РФ и округа	Природно-ресурсный потенциал, ранги	Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	Объёмы инновационной продукции млрд. руб.	Численность предприятий и организаций	Денежный потенциал, млрд руб.	Потребительский рынок, млрд руб.	Среднедушевые доходы населения, тыс. руб./чел.	ВРП производства товаров, млрд руб.	ВРП сферы производства услуг, млрд руб.	ВРП сферы госуправления, млрд руб.
ЦФО	13	1891,0	290,8	1871,0	22410,7	7512,3	24525	3376,3	7519,5	549,4
СЗФО	29	1049,6	120,1	631,8	5438,2	2171,4	19741	1512,1	1685,8	207,7
ЮФО	52	794,4	86,6	311,6	3521,1	1961,1	15031	871,0	992,3	125,3
СКФО	35	287,1	27,7	129,7	1947,1	1041,2	13249	316,6	402,5	76,4
ПрФО	45	1323,4	546,0	740,5	8312,8	4006,8	15697	2553,4	2105,7	260,8
УФО	58	1431,3	109,6	406,2	4786,4	2111,6	21586	2646,7	1591,6	158,3
СФО	66	889,7	46,9	545,9	5064,1	2296,4	14892	1620,5	1522,2	247,5
ДФО	67	725,7	16,2	186,7	2469,0	998,3	20809	877,6	704,5	148,9

Южный федеральный округ страны, после реорганизации включает шесть регионов. Среди них самый крупный, с лучшим природно-ресурсным потенциалом — Краснодарский край лидирует по 9 из 10 анализируемых показателей (табл. 2).

Таблица 2

Ключевые характеристики подсистем региональных экономик ЮФО

Регионы	Природно-ресурсный потенциал, ранги	Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	Объёмы инновационной продукции, млрд руб.	Численность предприятий и организаций	Денежный потенциал, млрд руб.	Потребительский рынок, млрд руб.	Среднедушевые доходы населения, тыс. руб./чел.	ВРП производства товаров, млрд руб.	ВРП сферы производства услуг, млрд руб.	ВРП сферы госуправления, млрд руб.
Адыгея	4	11376	1062,9	7140	85564	44127	12236	18067	18813	4558
Калмыкия	36	7288	—	8223	39790	13490	7540	11089	8795	4015
Краснодарский край	56	492733	5033,8	130889	1479154	854249	16648	344726	465637	47164
Астраханская область	54	56935	1682,3	18204	242051	128585	14641	60156	61611	10445
Волгоградская область	50	73964	59594,3	56467	620697	331616	14122	184532	168305	24529
Ростовская область	51	152116	19185	90703	1054282	588990	14503	252512	268086	35596

Далее в ранжированном ряду следуют Ростовская и Волгоградская области. В последней производится самый большой объём инновационной продукции. Ростовская область по семи показателям из десяти имеет лучшие после Краснодарского края характеристики.

На четвёртом месте — Астраханская область, обладающая довольно богатым природно-ресурсным потенциалом. Здесь относительно высокие среднедушевые доходы населения, уступающие только Краснодарскому краю.

Для Республики Адыгея характерны низкие показатели практически по всем характеристикам. Худшие данные демонстрирует Калмыкия. В этой республике не производится инновационная продукция. Калмыкия занимает последнее место по 9 показателям из 10 анализируемых.

Исходя из нормализованных характеристик, позволяющих сравнивать разнокачественные показатели, оценена теснота связей подсистемы окружающей среды (по показателю природно-ресурсного потенциала) с другими подсистемами. Судя по коэффициентам детерминации, окружающая среда в большей мере связана с социальной, финансово-бюджетной и управленческой подсистемами, в меньшей мере — с инвестиционной и инновационной.

В Северо-Кавказском федеральном округе семь регионов: Ставропольский край и шесть национальных республик. Лучшим природно-ресурсным потенциалом здесь отличаются Кабардино-Балкарская Республика, Дагестан и Ставропольский край, худшим — Республика Ингушетия, т. к. природные условия здесь не изучены и практически не используются (табл. 3).

Таблица 3

Ключевые характеристики подсистем региональных экономик СКФО

Регионы	Природно-ресурсный потенциал, ранги	Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	Объёмы инновационной продукции, млрд руб.	Численность предприятий и организаций	Денежный потенциал, млрд руб.	Потребительский рынок, млрд руб.	Среднедушевые доходы населения, тыс. руб./чел.	ВРП производства товаров, млрд руб.	ВРП сферы производства услуг, млрд руб.	ВРП сферы госуправления, млрд руб.
Дагестан	43	115106	1542,1	28034	627365	405408	15213	111339	138378	15375
Ингушетия	3	6448	0,7	4004	65831	15599	9596	6100	8208	4346
КБР	49	14080	2070,1	12149	153065	79079	11215	28763	30689	6975
КЧР	24	8928	2766,3	6716	80513	36363	10431	19793	14739	4051
РСО-А	9	14006	344,3	11401	147479	72866	13228	25209	31724	8208
Чеченская республика	12	39377	1064,6	10108	298206	68677	15000	21855	27751	14484
Ставропольский край	40	89192	19894,6	57275	604977	363160	12913	103495	150942	23030

По другим показателям, отражающим функционирование иных подсистем региональной экономики, в Северо-Кавказском федеральном округе выделяется три группы регионов.

Лучшими характеристиками отличаются Республика Дагестан (по 5 позициям из 10) и Ставропольский край (по 4 позициям). В основном средние организационно-экономические условия функционирования региональных экономик наблюдаются по Кабардино-Балкарской Республике, Республике Северная Осетия-Алания и Чеченской Республике, которая в последние годы ускоренно развивается.

Самыми худшими параметрами в системе анализируемых показателей отличаются Карачаево-Черкесская Республика и Республика Ингушетия. В последней почти не производится инновационная продукция, девять показателей из десяти — минимальные.

Заключение. В рамках предлагаемого авторами методического подхода к исследованию систем региональной экономики и исходя из нормализованных характеристик, позволяющих сравнивать разнокачественные показатели, в работе оценена теснота связей подсистемы окружающей среды (по показателю природно-ресурсного потенциала) с другими подсистемами.

Судя по коэффициентам детерминации, окружающая среда в большей мере связана с социальной, финансово-бюджетной и управленческой подсистемами, меньше — с инвестиционной и инновационной.

Аналогичные расчёты проведены по всем регионам РФ. В итоге, обобщая взаимосвязи природно-ресурсного потенциала как базисной характеристики подсистемы окружающей среды с другими подсистемами региональных экономик, следует отметить ряд важных обстоятельств.

Во-первых, в большей мере (в 6 случаях из 8) прослеживаются взаимосвязи с финансово-бюджетной подсистемой, так как в казну поступают значительные ресурсы от использования природно-ресурсного потенциала.

Во-вторых, наблюдаются существенные взаимосвязи подсистемы окружающей среды с социальной подсистемой (в округах Европейской части страны), управленческой, инвестиционной (в ЦФО, СЗФО, УФО и ДФО), производства товаров (особенно в Уральском и Северо-Западном федеральных округах).

В-третьих, природно-ресурсный потенциал в большей мере значим для функционирования потребительской подсистемы в Дальневосточном федеральном округе. С институциональной и инновационной подсистемами, сферой производства услуг значимых связей здесь не наблюдается.

Библиографический список

1. Бабков, Г. А. Методика экономических исследований и расчётов в региональной и сервисной экономике / Г. А. Бабков, Л. И. Муратова, С. А. Понамаренко. — Шахты: ЮРГУЭС, 2009. — С. 584.

2. Национальные счета России в 2003—2010 годах. — Москва: Росстат, 2011. — С. 333.

3. Регионы России. Социально-экономические показатели. — Москва: Росстат, 2011. — С. 990.

4. Российский статистический ежегодник. — Москва: Росстат, 2011. — С. 795.

5. Рейтинг инвестиционной привлекательности регионов // Эксперт. — 2011. — № 50. — С. 86—103.

Материал поступил в редакцию 20.06.2012.

References

1. Babkov, G. A. Metodika e`konomicheskix issledovanij i raschyotov v regional`noj i ser-visnoj e`konomike / G. A. Babkov, L. I. Muratova, S. A. Ponamarenko. — Shaxty`: YuRGUE`S, 2009. — S. 584. — In Russian.

2. Nacional`ny`e scheta Rossii v 2003—2010 godax. — Moskva: Rosstat, 2011. — S. 333. — In Russian.

3. Regiony` Rossii. Social`no-e`konomicheskie pokazateli. — Moskva: Rosstat, 2011. — S. 990. — In Russian.

4. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik. — Moskva: Rosstat, 2011. — S. 795. — In Russian.

5. Rejting investicionnoj privlekatel`nosti regionov // E`kspert. — 2011. — № 50. — S. 86—103. — In Russian.

ENVIRONMENT IN THE AGGREGATE WITH SUBSYSTEMS OF REGIONAL ECONOMY

G. A. Babkov
(Rostov International Institute of Economics and Management),
A. E. Safronov
(Don State Technical University)

The essence, combination, and interaction of the regional economy subsystems are considered. The environment subsystem is distinguished as the basic one. The block of indicators characterizing one or another subsystem is revealed. The key indicators are selected from the block, and on their basis, the economies of the federal districts of the Russian Federation and the regions of the South and North Caucasian districts are analyzed.
Keywords: *regional economy subsystems, federal districts, regions, types of economic activity, key indicators, correlation regression analysis, groups, clusters, polar differences.*

УДК 338.46:658.6

Процесс трансфера инноваций в интегрированных структурах высшего профессионального образования

М. А. Изотов
(Донской государственный технический университет)

Дано определение категории «экономика знаний», определены место и роль процесса трансфера инноваций в экономике знаний, раскрыто содержание понятия «инновационная фирма». Доказано, что значение инновационно-активных предприятий возрастает в системе высшего профессионального образования, что требует совершенствования адаптационных механизмов реализации результатов научно-производственной деятельности инновационного университетского комплекса. Раскрыты основные характеристики инновационной деятельности высших учебных заведений, обоснована специфическая роль инновационной инфраструктуры вуза, обозначены функциональные тренды университетского комплекса.
Ключевые слова: *результат научно-технической деятельности, инновация, трансфер, университетский комплекс, инновационно-активное предприятие, организации научно-технического комплекса, инновационная фирма, инновационная инфраструктура, инновационный потенциал.*

Введение. Трансформация внешней среды требует интенсификации процесса адаптации научно-технического комплекса России к рыночным условиям. Современная экономика является моделью постиндустриального общества, где базовой производительной силой становятся наука и инновации, основанные на информации и знаниях участников экономической деятельности. Способность общества создавать инновации и использовать знания имеет решающее значение для устойчивого экономического роста и повышения жизненного уровня населения — знания превратились в наиболее важный фактор экономического развития. Экономический рост сегодня является в такой же мере процессом накопления знаний, как и процесс накопления капитала. Экономику постиндустриального общества, приходящую на смену индустриальному производству, часто обозначают как экономику, основанную на знаниях.

Основная часть. Экономика, основанная на знаниях, базируется на трёх постулатах:

1. Знание формирует большую часть создаваемой стоимости: этот процесс развивается через интеллектуализацию технологий, рост наукоёмкости производимой продукции и развитие рынка интеллектуальных товаров и услуг;

2. Процессы производства знаний приобретают всё более существенное значение: ускоряются темпы приращения знаний, которые требуют адекватной скорости их освоения, что повышает роль образования. В современной экономике образование рассматривается как форма инвестиций в человеческий капитал, от которой зависит качество и эффективность национального производства;

3. Превращение работников, занятых производством, передачей и использованием знаний, в доминирующую группу в общем числе занятых.

Информатизация общества представлена двумя трендами: во-первых — интеграция процессов обработки информации и процессов её доставки дала огромную социальную, экономическую, культурную синергетику; во-вторых — сетевые информационные технологии обусловили мощную коммуникативную составляющую информационной революции, создав новые формы организации экономической деятельности (электронная торговля), новые экономические инструменты (электронные деньги) и др.

Практика функционирования интегрированных структур высшего профессионального образования свидетельствует о том, что знание превращается в фундаментальную составляющую

экономических отношений. Основным ресурсом этих отношений становятся права на использование знаний в процессе хозяйственной деятельности, описываемые в современной мировой практике делового оборота понятием интеллектуальная собственность.

Интеллектуальная собственность является содержанием и результатом интеллектуальной деятельности субъектов в условиях рыночной экономики, создаёт адекватные черты товара, обладающего повышенной полезностью, редкостью и рыночной стоимостью [1]. Интерес к интеллектуальной собственности обусловлен возможностью получения дополнительного дохода от монопольного использования новых научных достижений и технологий, продажи лицензий и патентов. Объекты интеллектуальной собственности становятся всё более дорогостоящим активом, реальная стоимость которого нередко превышает стоимость всех остальных активов.

Приведённые выше объективные тенденции, актуализировали проблему использования интеллектуальных ресурсов в становлении постиндустриального общества, предопределив необходимость изучения особенностей инновационной деятельности.

Теория инноваций прошла сложный путь от описания предпринимателя, фирмы и государства как отдельных элементов инновационного процесса к анализу их как взаимосвязанных звеньев сложной системы, работа которой обеспечивается сложным набором институциональных факторов. Одновременно развивалось понимание того, что наука, как главный источник нововведений, не является замкнутой, изолированной университетами и научными центрами системой, а органически встроена в экономические процессы, происходящие в рамках национальных государств, в отраслях хозяйства, в крупных корпорациях и в мелких компаниях.

Инновационный университет обладает следующими чертами:

— способность предвидеть проблемы и формулировать стратегические ответы для приспособления к изменениям в окружении;

— способность к обучению — свойство, позволяющее университету воспринимать знания из окружения, собственного опыта и истории;

— способности генерировать подходящие к ситуации необычные решения;

— экспериментирование — уровень и способы тестирования новых идей в университете;

— внутренняя коммуникабельность — способность университета распространять релевантную информацию по своим подразделениям;

— готовность к риску — желание университета инвестировать в новые продукты и процессы в условиях неопределённости не от безвыходности, а от стремления к совершенству;

— абсорбционность — способность контролировать нарушения, вызываемые экспериментированием, изменениями и инновациями;

— космополитичность — открытость и желание воспринимать иной, в том числе зарубежный, опыт.

Поведенческий аспект рассматриваемого понятия является, по нашему мнению, весьма существенным и продуктивным для понимания особенностей развития университетов в современных условиях формирующейся экономики знаний, где центральным ресурсом развития становятся человеческие ресурсы и их готовность к восприятию инноваций.

Участники инновационной деятельности в зависимости от их роли в инновационном процессе по отношению к интеллектуальным товарам делятся на три категории:

— организации научно-технического комплекса (ОНТК), осуществляющие научно-техническую деятельность, направленную на получение, применение новых знаний для решения технологических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем. ОНТК формируют интеллектуальные товары, являются владельцами прав на использование результатов научно-технической деятельности, обладают обусловленной особым положением науки в соци-

ально-экономическом развитии общества возможностью активного влияния на формирование инновационных целей остальных участников инновационной деятельности;

— инновационно-активные предприятия реального сектора экономики (ИАП), заинтересованные в приобретении и использовании инноваций для повышения собственной устойчивости и конкурентоспособности на потребительском рынке; они инвестируют средства в инновации, определяя финансовую возможность их коммерциализации;

— инфраструктурные инновационные предприятия (ИИП), обеспечивающие трансфер инноваций. Развитие инновационной инфраструктуры ФГБОУ ВПО ДГТУ как базового Инновационного Интерфейса направлено на ликвидацию узких мест инновационной системы и создание мощного регионального инфраструктурного комплекса, что предусматривает:

а) создание новых объектов инновационной инфраструктуры, в том числе:

— многофункционального инновационного технологического центра в сфере АПК — учебно-опытного производства Агротехнопарк;

— многофункционального инновационного технологического центра в сфере технологии машиностроения — экспериментально-опытного производства Технопарк;

— многофункционального центра гуманитарной инженерии;

— медиапарка.

б) формирование студенческого конструкторского бюро по приоритетным направлениям развития;

в) совершенствование механизма управления интеллектуальной собственностью в части оснащения современным оборудованием, совершенствования организации работы, разработки и совершенствования нормативных документов регламентов работы инфраструктуры в соответствии с быстро меняющимися внешними условиями;

г) развитие и модернизация информационной системы управления инновационной инфраструктурой и системой сервисов, как базисной информационной основы инновационной среды университета.

Проведение мероприятий предусматривает совершенствование механизмов оценки объектов интеллектуальной собственности и их правовой охраны и передачи прав на использование, проведение специализированных семинаров, тренингов для сотрудников, студентов, магистров, докторантов и аспирантов по вопросу создания хозяйственных обществ, совершенствование университетских процессов создания хозяйственных обществ и соответствующих нормативных документов, разработку и поддержание автоматизированной системы корпоративного управления хозяйственными обществами (университетской инновационной среды), включая создание базы данных, разработку регламентов сопровождения деятельности хозяйственных обществ.

Трансфер инноваций представляет собой взаимовыгодный обмен интеллектуальных товаров на инвестиционные ресурсы инновационно-активных предприятий при участии инфраструктурных комплексов с целью увеличения совокупного результата инновационного проекта, а, следовательно, и результатов деятельности его участников.

Инновационный потенциал зависит от специфики и масштаба деятельности, а уровень его развития определяет реальные инновационные возможности субъекта, т. е. восприимчивость к нововведениям [2]. Инновационный потенциал представляет собой одну из основных характеристик инновационной восприимчивости, определяющей реальный уровень интенсивности внедряемых новшеств, т. е. инновационно-инвестиционную активность. При этом оцениваются материальные и финансовые ресурсы, масштаб и структура инвестиций, экономическое освоение и распространение нововведений. Инновационный потенциал как категория по своему смыслу есть «экономизированная» разработка [3]. Таким образом, инновационный потенциал характеризует реализационную составляющую научно-технического, а точнее, научно-технологического прогресса.

Современные инновационные университетские комплексы становится всё более мощной движущей силой экономического роста, повышения эффективности и конкурентоспособности народного хозяйства, что делает их одним из важнейших факторов национальной безопасности и благосостояния страны, благополучия каждого гражданина.

Учебные и научные подразделения выступают генераторами идей, продуктовых и технологических новаций, потребность в которых формируется на основании анализа деятельности маркетинговых и сбытовых подразделений.

Теснота взаимодействия производства и отделов, выполняющих научно-исследовательские и конструкторские разработки, обеспечивает формирование инновационных университетских комплексов [4]. Задачи, стоящие перед университетским комплексом, включают подготовку специалистов, в том числе высококвалифицированных, усиление связей учебных заведений и научных организаций на основе повышения качества и конкурентоспособности образовательных услуг [5].

Переход системы образования на качественно новый уровень предусматривает создание структур, адекватно отражающих изменения в подходах к функционированию всей системы образования и её интеграции с научными подразделениями и другими организациями. Выбранный путь ассоциативного взаимодействия научных организаций, образовательных учреждений, производственных и других структур способствует консолидации усилий всех участников исследовательского университета.

Задачи, стоящие перед интегрированным университетским комплексом, включают подготовку высококвалифицированных специалистов, способствуют повышению качества на всех уровнях образования, усиливают связи учебных заведений, научных организаций и производства.

Сущность университетского комплекса следует характеризовать как триединую категорию:

— университетский комплекс — единое юридическое лицо, состоящее из различных образовательных, научных, конструкторских, производственных и иных подразделений;

— университетский комплекс — объединение образовательных, научных, конструкторских, инновационных и иных учреждений и организаций различных форм собственности, сохраняющих свою самостоятельность и образующих ассоциацию или союз с правами юридического лица;

— университетский комплекс — университетский образовательный комплекс без прав юридического лица как объединение образовательных учреждений и организаций независимо от форм собственности, реализующие образовательные программы различных уровней. В целом ряде регионов в эти процессы вовлечены самые разные структуры: средние и средние специальные учебные заведения, академические институты, отраслевые научно-исследовательские институты, проектные бюро, предприятия, общественные организации [6].

Вне зависимости от избранной модели университетский комплекс оказывает:

1. Образовательные услуги — возрождение экономики, необходимость технического и технологического перевооружения промышленности, глобализация рынков и конкуренция поставили перед обществом задачу создания системы непрерывного образования. Открываются новые специальности, востребованные и актуальные для региона, развивается дистанционное обучение, непрерывное образование, обеспечивается переквалификация работников всех сфер экономики.

2. Научно-производственные услуги — накоплен опыт трансфера новых технологий в промышленность и бизнес, создаются технопарки, «инкубаторы» малого бизнеса, центры инновационных технологий, наблюдается возрождение прикладных исследований, активизировалась выставочная деятельность. Объединяя интеллектуальные усилия над решением актуальных технических, технологических проблем, участвуя в выработке научно-технической политики региона, университетские комплексы способствуют стабилизации экономики [7].

Инфраструктура ДГТУ позволяет реализовать весь цикл научно-исследовательских работ: исследование, проектирование, рабочее проектирование, изготовление опытных партий, поставку заказчику и сервисное обслуживание, что дало возможность занять определённый сегмент южно-российского рынка инноваций. Научные исследования проводятся как непосредственно на кафедрах, так и в специализированных научных подразделениях. Кафедры наиболее активны при выполнении фундаментальных исследований, прикладные научно-исследовательские работы выполняются практически всеми видами подразделений, включая студенческие группы, работающие в студенческом конструкторском бюро. В рамках научных направлений, развиваемых творческими коллективами университета выполняются фундаментальные и прикладные научные исследования по 8 отраслям науки; действует 14 ведущих научных школ, реализующих проекты в 15 научных, научно-исследовательских, учебно-научных (учебно-научно-производственных) лабораториях.

3. Консультационные услуги — университетские комплексы становятся центрами академической экспертизы региональных программ развития и инновационных проектов, способствуют повышению качества бизнес-проектов, создают университетские центры поддержки социума.

4. Информационные услуги — на основе интегрированных университетских комплексов действуют многочисленные интернет-центры широкого доступа, развиваются локальные и корпоративные сети.

5. Услуги по расширению международного сотрудничества — созданы центры, решающих важные задачи интеграции в мировую систему образования, расширения обменов с зарубежными партнёрами по разным направлениям и международным научным и образовательным программам.

Одной из главных стратегических целей развития ФГБОУ ВПО ДГТУ является интернационализация образовательного процесса, преобразование университета в инновационный научно-образовательно-промышленный комплекс и укрепление имиджа университета как вуза европейского типа. Данная деятельность реализуется в ДГТУ по следующим направлениям:

▪ Трансграничное и транснациональное высшее образование:

— предоставление экспорта образовательных услуг: функционирует система подготовки иностранных граждан для обучения в вузах России, один из крупнейших центров подготовки в РФ, включая программы аспирантуры и профессиональные стажировки;

— реализация программ академической и профессиональной мобильности согласно договорам с зарубежными партнёрами ДГТУ, международных проектов и грантов, участие иностранных специалистов в процессе обучения в ДГТУ;

— внедрение основных положений Болонской Декларации в практику вуза;

— организация и проведение международных конференций, форумов, фестивалей.

▪ Содействие формированию и развитию конкурентоспособных экономики, знаний и технологий:

— участие в международных программах Erasmus, Tempus и др.; на Tempus IV ДГТУ в консорциуме с российскими и зарубежными вузами представляет проекты «Менеджмент и сопровождение карьерного роста», «Интернационализация вузов России, Украины и Казахстана», «Разработка единых требований и рамки квалификации для инженерных специальностей», «Подготовка специалистов для развития регионального круизного туризма»; разработка проектов на грант Еврокомиссии по укреплению транскультурного взаимодействия и развитию регионов;

— содействие деятельности и создание новых корпоративных (базовых) кафедр по модели «Университет-предприятие» с компаниями Испании, Нидерландов, Швеции и Германии;

— реализация проекта DSTU-edumobile, предусматривающего развитие образовательного и бизнес — туризма, представление интересов организаций и предприятий — партнёров ДГТУ, участие в экономических и образовательных форумах в России и за рубежом, создание и реализация программ Study in Russia, Don Region, Russian language +.

▪ Межкультурное взаимодействие и адаптация к процессам глобализации и модернизации современного общества:

6. Социально-культурные услуги — экономические и политические реалии потребовали значительной мобилизации внутренних территориальных ресурсов и концентрации усилий для развития широкого спектра исследований и образовательных программ, нацеленных на развитие национальных культур, на воспитательную работу, на формирование в обществе идеала культурного, образованного, просвещённого человека.

Трансфер инноваций следует рассматривать как систему мер по совершенствованию инновационной деятельности путём нахождения экономического компромисса в рациональном использовании ограниченных ресурсов всех участников научно-технической деятельности в условиях неантагонистических противоречий разнонаправленных интересов участников инновационного проекта. Интеграция отдельных звеньев комплексного инновационного процесса в единую систему составляет основу управления сквозными потоками инноваций с учётом распределения риска по стадиям и этапам жизненного цикла проекта или реализации инновации.

Под механизмами трансфера инноваций понимается совокупность взаимосвязанных процессов, направленных на формирование рыночного спроса на интеллектуальные товары и обеспечение преобразования инноваций в конкурентоспособную продукцию.

Основным конструктивным принципом, на котором строится формирование механизмов трансфера инноваций, является принцип системности, согласно которому в качестве объекта управления принимается единый инновационный процесс преобразования научного знания в инновацию, т. е. последовательная цепь подпроцессов, в ходе которых инновация вызревает от идеи до конкретного продукта или услуги и распространяется при практическом использовании.

Следует выделять принципы процесса трансфера инноваций:

— комплексность: трансфер инноваций обусловлен включением в инновационный процесс всей совокупности предприятий и организаций, производящих, продвигающих к потребителю и потребляющих интеллектуальный товар;

— интеллектуальность: получение дополнительного конкурентного преимущества участниками инновационного проекта в результате объединения конкретного фрагментарного знания, принадлежащего ОНТК в виде интеллектуального товара, с конкретным знанием о возможностях повышения собственной конкурентоспособности на основе технологической инновации;

— экономичность: сущностью процесса трансфера инноваций является взаимовыгодный в рамках инновационных проектов обмен интеллектуальных товаров на инвестиционные ресурсы с целью увеличения совокупного результата инновационного проекта, а, следовательно, и результатов деятельности его участников;

— вариантность: повышение эффективности инновации обеспечивается возможностью подбора участников инновационного проекта по критерию качества результата проекта.

Выводы. Исследование процесса трансфера инноваций позволило выявить его свойства:

1. Инновационные проекты, в рамках которых осуществляется трансфер инноваций, обладают:

— свойством саморазвития. Важнейшей задачей, которую решают инфраструктурные инновационные предприятия, является целенаправленный поиск предприятий, имеющих инвестиционные ресурсы и готовых к восприятию предлагаемых в качестве интеллектуального товара инноваций: в этих условиях у инновационных инфраструктурных предприятий появляется возможность использования рыночных преимуществ. Основы теории «рассеянного знания» Ф. Хайека [8] объясняют стремление субъектов инновационной деятельности к объединению в рамках инновационного проекта и наличие оснований для поиска возможностей нахождения искомого в рамках модели экономического компромисса. При этом согласно модели взаимосвязи между ин-

ституциональными структурами и стимулами к приобретению чистого знания Д. Норта [9] конкретный институциональный контекст влияет на формирование внутренней структуры организации, определяет степень её вертикальной интегрированности и структуру управления, определяет подвижные внешние границы организации, которые позволяют обеспечить максимизацию её целей. Следствием свойства саморазвития является необходимость признания фундаментальной институциональной роли интеллектуальной собственности как условия адаптации научно-технического комплекса к рыночным условиям;

— способностью к самонастройке, которая обеспечивается возможностью подбора участников инновационного проекта по критерию качества результатов проекта, и, следовательно, повышению эффективности инновации;

2. Замкнутость процесса коммерциализации инноваций обеспечивается заинтересованностью в приобретении и использовании инноваций для повышения собственной устойчивости и конкурентоспособности путём достижения инновационных целей.

3. Представление потока инноваций в качестве объекта управления в масштабах всего инновационного проекта определяет возможность применения сквозного комплексного подхода к моделированию трансфера инноваций и выявления границы разделения рисков государства и коммерческих организаций в развитии научно-технического комплекса страны.

Процесс трансфера инноваций включает в себя лишь ту часть результатов деятельности, которые могут быть востребованы в практике хозяйственной деятельности инновационно-активных предприятий. За пределами этого процесса остаются результаты фундаментальных научных исследований, без которых невозможно дальнейшее развитие научного знания.

Требующие развития инструменты государственного регулирования научно-технической сферы (в том числе: экспертиза результатов исследований и разработок с точки зрения возможностей будущей коммерциализации инноваций, системы мониторинга научных и научно-технических результатов и др.) позволяют уменьшить риски бюджетного финансирования, увеличить число работ с потенциальной возможностью коммерциализации и снизить последующий риск коммерческих организаций-потребителей инноваций: именно за государством остаётся обязанность своевременного и полного финансирования исследований в тех областях знаний, которые в первую очередь обеспечивают безопасность страны.

Библиографический список

1. Иншаков, О. В. Интеллектуальный фактор инновационной деятельности: учеб. пособ. / О. В. Иншаков, П. В. Поляков, А. С. Ходыкин. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2003. — С. 16—23.

2. Гамидов, Г. С. Основы инноватики и инновационной деятельности / Г. С. Гамидов, В. Г. Колосов, И. О. Османов. — Санкт-Петербург: Политехника, 2000. — С. 167—170.

3. Кушлин, В. И. Инновационный потенциал и инновационный тип развития // Инновации: теория, механизм, государственное регулирование: учеб. пособ. / под ред. Ю. В. Яковца. — Москва: РАГС, 2000. — С. 65—84.

4. Журавлёв, В. А. Классический исследовательский университет: концепция, признаки, региональная миссия / В. А. Журавлёв // Университетское управление: практика и анализ. — 2000. — № 2. — С. 25—31.

5. Проворов, А. С. Интеграционные процессы в науке и высшем профессиональном образовании / А. С. Проворов, А. И. Шадрин // Университетское управление: практика и анализ. — 2003. — № 5/6 (28). — С. 24—30.

6. Слободчиков, В. И. Проблемы становления и развития инновационного образования / В. И. Слободчиков // Инновации в образовании. — 2003. — № 2. — С. 4—28.

7. Шапошников, А. А. Этапы трансфера технологий в вузе/НИИ / А. А. Шапошников // Инновации. — 2004. — № 3 (70). — С. 64—68.

8. Хайек, Ф. Индивидуализм и экономический порядок / Ф. Хайек. — Москва: Изо-граф, 2000. — С. 120—133.

9. Норт, Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / Д. Норт. — Москва: Прогресс, 1997. — С. 36—40.

Материал поступил в редакцию 01.06.2012.

References

1. Inshakov, O. V. Intellektual`ny`j faktor innovacionnoj deyatel`nosti: ucheb. posob. / O. V. Inshakov, P. V. Polyakov, A. S. Xody`kin. — Volgograd: Izd-vo VolGU, 2003. — S. 16—23. — In Russian.

2. Gamidov, G. S. Osnovy` innovatiki i innovacionnoj deyatel`nosti / G. S. Gamidov, V. G. Kolosov, I. O. Osmanov. — Sankt-Peterburg: Politexnika, 2000. — S. 167—170. — In Russian.

3. Kushlin, V. I. Innovacionny`j potencial i innovacionny`j tip razvitiya // Innovacii: teoriya, mexanizm, gosudarstvennoe regulirovanie: ucheb. posob. / pod red. Yu. V. Yakovcza. — Moskva: RAGS, 2000. — S. 65—84. — In Russian.

4. Zhuravlyov, V. A. Klassicheskij issledovatel`skij universitet: koncepciya, priznaki, regional`naya missiya / V. A. Zhuravlyov // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz. — 2000. — № 2. — S. 25—31. — In Russian.

5. Provorov, A. S. Integracionny`e processy` v nauke i vy`sshem professional`nom obrazovanii / A. S. Provorov, A. I. Shadrin // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz. — 2003. — № 5/6 (28). — S. 24—30. — In Russian.

6. Slobodchikov, V. I. Problemy` stanovleniya i razvitiya innovacionnogo obrazovaniya / V. I. Slobodchikov // Innovacii v obrazovanii. — 2003. — № 2. — S. 4—28. — In Russian.

7. Shaposhnikov, A. A. E`tapy` transfera texnologij v vuze/NII / A. A. Shaposhnikov // Innovacii. — 2004. — № 3 (70). — S. 64—68. — In Russian.

8. Xajek, F. Individualizm i e`konomicheskij poryadok / F. Xajek. — Moskva: Izo-graf, 2000. — S. 120—133. — In Russian.

9. Nort, D. Instituty`, institucional`ny`e izmeneniya i funkcionirovanie e`konomiki / D. Nort. — Moskva: Progress, 1997. — S. 36—40. — In Russian.

INNOVATION TRANSFER PROCESS IN INTEGRATED STRUCTURES OF HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

M. A. Izotov
(Don State Technical University)

The definition of the "knowledge economy" category is given. The place and role of the innovation transfer process in the knowledge economy is defined. The content of the "innovation firm" concept is revealed. It is proved that the importance of the innovative-active enterprises increases in the higher vocational education system, which requires improving adaptation mechanisms of the scientific and production activity results implementation of the innovation multiversity. The basic characteristics of the university innovative activities are described. The special role of the university innovation infrastructure is proved. The multiversity functional trends are marked.
Keywords: *result of scientific and technological activities, innovation, transfer, multiversity, innovation-active enterprise, organizations of scientific and technical complex, innovation firm, innovation infrastructure, innovative capacity.*

УДК 338.22.01

Совершенствование системы подрядных торгов в строительстве

А. Е. Дудник
(Ростовский государственный строительный университет)

Сформулированы пути совершенствования системы проведения подрядных торгов на примере внедрения компьютерной программы, обеспечивающей антикоррупционную составляющую деятельности строительного рынка.
Ключевые слова: *подрядные торги, предквалификация, строительные риски, инновационная программа.*

Введение. В условиях развития новых экономических отношений особенно актуальной становится проблема развития и активизации рыночных механизмов управления капитальным строительством, к которым относится и система подрядных торгов. С точки зрения развития бизнеса, подрядные торги в строительной отрасли явление очень интересное, проводятся они в целях поиска наиболее оптимальной реализации инвестиционного проекта. Торги выступают эффективным способом выбора на конкурсной основе участников инвестиционно-строительной деятельности. Внедрение системы подрядных торгов обеспечивает повышение качества строительства, снижение его сроков, рациональное использование денежных средств, снижение риска невыполнения договорных обязательств при реализации инвестиционных проектов. Кроме того, в современных условиях хозяйствования, роста конкуренции конкурсное получение подряда является главным условием выживаемости строительной организации и показателем её конкурентной позиции на рынке строительных работ и услуг. Однако структура проведения подрядных торгов в России не идеальна. Основной проблемой является высокий уровень коррупции. Для борьбы с ней необходимо совершенствовать систему проведения подрядных торгов, опираясь на опыт стран с более развитой и совершенной структурой. Например, Австралии и Новой Зеландии, политика которых опирается на главный принцип системы государственных закупок — Value for money: государство за выплаченные деньги должно получить соответствующие ценности (товары, работы, услуги и т. п.). Чиновники для реализации этого принципа должны тщательнейшим образом проанализировать издержки, выгоды и альтернативные варианты исполнения заказа. Чиновник несёт персональную ответственность за свои действия в соответствии с Законом «О финансовом управлении и бухгалтерском учёте» [1]. В России основополагающим документом является ГК РФ, необходимость применения иных нормативно-правовых актов зависит от конкретной ситуации [2]. Важнейшей задачей при проведении подрядных торгов, решение которой необходимо найти, является развитие правовых механизмов, способных сдерживать коррупцию, не давая ей проявлять свои «паразитические» свойства. Проблема заключается в том, что за выигранные торги подрядчик нелегально оплачивает лицу, представляющему интересы государственного (муниципального) заказчика, проценты от суммы контракта, так называемый «откат», который продолжает существовать даже в условиях обновлённого в сфере строительства законодательства.

Решения этих проблем при проведении подрядных торгов в нашей страны можно добиться путём:

1) прохождения фирмой предквалификации. Критериями оценки в процессе выступают:
- опыт работы в данной области;
- исполнение заказов в прошлом, в том числе соответствие требованиям заказчика;
- соблюдение сроков и уровня стандартов оказываемых услуг;
- гарантии качества;

- количество и качество персонала;
- соответствие минимуму квалификационных требований;
- удовлетворительный уровень страхового обеспечения.

2) повышения качества поставляемой продукции (строительных материалов) и её экологичности, основанных на международных стандартах;

3) повышения меры ответственности чиновников за уже проведённые торги, начиная от административного наказания, штрафов и заканчивая уголовной ответственностью. Эта мера исключит возможность сговора между чиновником и фирмой-участником;

4) увеличения гласности. Расширять информационную сеть, распространять информацию о проведении и результатах конкурса не только на специализированных сайтах, но и в других СМИ;

5) привлечения (создания) специальных органов, проводящих конкурсы, и совершенствования методического аппарата;

6) введения в условия проведения конкурса обязательного требования страховать заказчика от строительных рисков на сумму контракта.

При этом заказчик обязан:

1) обеспечить гласность, информировать претендентов о проведении конкурса;

2) грамотно составлять конкурсную документацию, из которой поставщик сразу видит весь объём работ, взвешивает свои силы и принимает решение об участии;

3) указывать реальные рыночные цены.

Все эти меры ожесточат условия для недобросовестных фирм и чиновников, привыкших к откатам, и обеспечат максимальную прозрачность процесса для добропорядочных исполнителей, дав возможность фирмам работать в честной конкурентной среде и приблизить качество выпускаемой продукции, работ, услуг к мировым стандартам, что в будущем при желании поможет им выйти на международный рынок.

Помимо этого, необходимо разработать программу, которой в режиме онлайн могли бы пользоваться все фирмы — участники строительного рынка Российской Федерации, по регионам. На рисунке 1 представлена схема работы программы.

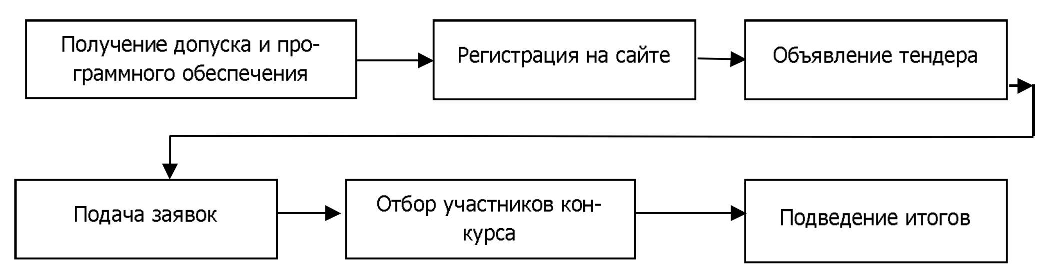


Рис. 1. Схемы работы программы

Целью данной программы является обеспечение гласности и структурированность всего процесса строительства. Программой могли бы пользоваться не только государственные заказчики, выставляющие муниципальные контракты, но и коммерческие фирмы-заказчики.

Основной идеей является видимый процесс совершения всех сделок, любого рода. Каждая фирма может выступать как в качестве заказчика, так и в качестве поставщика товаров, услуг, как проводить подрядный торг, так и принимать участие в тендере.

Фирма заполняет в программе форму и далее, выступая в роли заказчика (проводит аукцион) или участника тендера, сведения мгновенно опубликовываются в интернете, далее фирма-заказчик в режиме онлайн отслеживает поступившие заявки на участие и сама подводит итоги конкурса, соблюдая при этом все пункты законодательства. В то же время участники торга, подавшие заявку, по прошествии положенного срока проведения конкурса видят итоги, скрытыми

от всеобщего обозрения являются только показатели цены, сроки выполнения, гарантийный период и т. д. Это открывает целый ряд новых возможностей: заказчик не тратит время, занимаясь бумажной волокитой; сокращается вероятность «откатов», т. к. сам заказчик видит предложения цены и т. д. только после завершения конкурса. Становится невозможной фальсификация документов или отклонение поданной заявки из-за несоответствия, так как форма подачи одна и заполняется для всех одинаково, а для поставщика всё это даёт возможность выигрывать конкурс в честной конкурентной борьбе.

Каждая частная фирма или муниципальное учреждение может выступать в качестве любого из участников рынка в зависимости от производственной необходимости. Во избежание заключения договоров с недобросовестными поставщиками или заказчиками все фирмы, зарегистрированные в данной сети, должны:

1) также пройти предквалификацию;
2) предоставить банковские документы, подтверждающие платёжеспособность;
3) налоговую отчётность;
4) данные о квалификации персонала, работающего в организации;
5) фирма должна быть застрахована от различных рисков (тем самым она проходит 2 этапа проверки: администрацией сайта и страховой компанией).

После прохождения процесса проверки фирма получает лицензионное программное обеспечение и становится полноправным участником онлайн-рынка.

Заключение. Внедрение системы торгов подряда обеспечивает повышение качества строительства, снижение его сроков, рациональное использование денежных средств, снижение риска невыполнения договорных обязательств при реализации инвестиционных проектов.

При соблюдении правил проведения торгов они становятся основным инструментом оптимизации цены на строительную продукцию и развития конкуренции в инвестиционно-строительной сфере.

Внедрение как на государственных, так и на коммерческих предприятиях системного подхода к проведению торга принесёт выгодные результаты, позволяя сэкономить немалые финансовые средства и сократив возможные риски.

Библиографический список

1. Попырин, В. И. Опыт Австралии и Новой Зеландии / В. И. Попырин // Московские торги. — 2000. — № 2—3.
2. Ткачёва, Т. Н. Политико-экономические принципы и правовые основы порядка размещения госзаказов / Т. Н. Ткачёва // Московские торги. — 2001. — № 2.

Материал поступил в редакцию 14.03.2012.

References

1. Popy`rin, V. I. Opy`t Avstralii i Novoj Zelandii / V. I. Popy`rin // Moskovskie torgi. — 2000. — № 2—3. — In Russian.
2. Tkachyova, T. N. Politiko-e`konomicheskie principy` i pravovy`e osnovy` poryadka razmeshheniya goszakazov / T. N. Tkachyova // Moskovskie torgi. — 2001. — № 2. — In Russian.

TENDER SYSTEM DEVELOPMENT IN CONSTRUCTION INDUSTRY

A. E. Dudnik
(Rostov State Construction University)

Approaches to the tender system development by the example of introducing the computer program which provides the anticorruption component of the construction market activities are formulated.
Keywords: *tender, prequalification, constructional risks, innovative program.*

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный вариант статьи представляется в редакцию журнала через интернет-сайт http://vestnik.donstu.ru. Следует зарегистрировать себя на сайте как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные авторы загружают статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживают состояние своих рукописей. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC или DOCX. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал полуторный с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее сведения идут в таком порядке: название статьи; инициалы и фамилии авторов (не более 4), место работы; аннотация (от 100 до 250 слов); ключевые слова (до 15 слов). После текста самой статьи располагают библиографический список, сведения об авторах и дополнительные сведения на английском языке, которые включают в себя название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотацию, ключевые слова, сведения об авторах.

3. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановку задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

4. Объём статьи не должен превышать 16 страниц, включая библиографический список и иллюстрации (до 5 рисунков или фотографий); обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

5. Каждый рисунок должен иметь подпись. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

6. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

7. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

8. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://vestnik.donstu.ru.